

**Untersuchungen an Böden,
die in klimatisch unterschiedliche Standorte
verlagert wurden, mit besonderer
Berücksichtigung
ihrer mikrobiologischen Eigenschaften
(Klimaversuch)**

von

Erhard Ahrens

Institut für Landwirtschaftliche Mikrobiologie
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Prof. Dr. E. Küster

Habilitationsschrift
an der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

Gießen 1970

**Untersuchungen an Böden,
die in klimatisch unterschiedliche Standorte
verlagert wurden, mit besonderer
Berücksichtigung
ihrer mikrobiologischen Eigenschaften
(Klimaversuch)**

von

Erhard Ahrens

Institut für Landwirtschaftliche Mikrobiologie
der Justus Liebig-Universität Gießen
Direktor: Prof. Dr. E. Küster

Habilitationsschrift
an der Landwirtschaftlichen Fakultät
der Justus Liebig-Universität Gießen

Gießen 1970

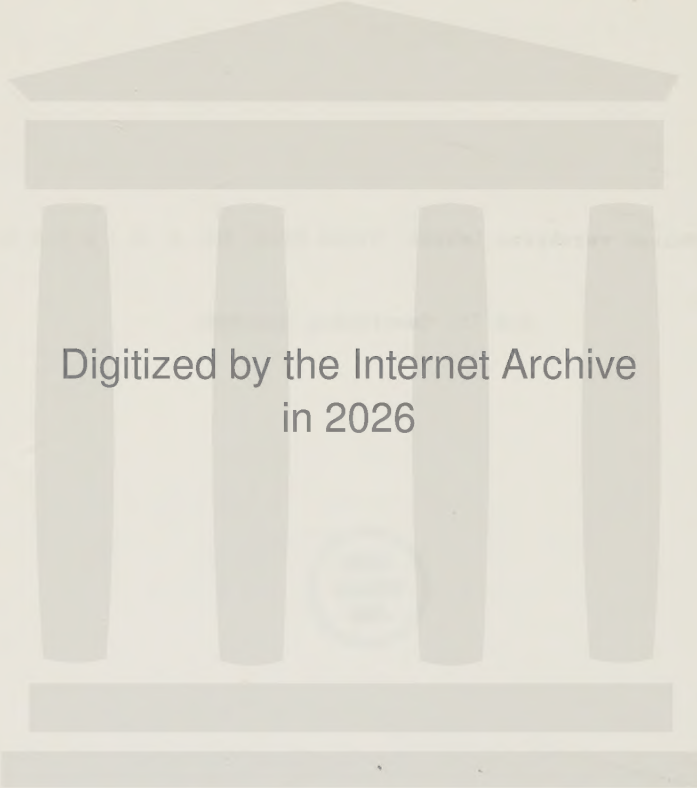
Untersuchungen an Hunden
die in klinisch experimenteller
Verfahren wurden, zur Bestimmung
der Nahrungsaufnahme
ihre methodologische Grundlagen
(Hilfsverfahren)



Verlag von J. B. Schöningh
in der Buchhandlung
des Herrn J. B. Schöningh

Meinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. G l a t h e,

zum 75. Geburtstag gewidmet



Digitized by the Internet Archive
in 2026

I n h a l t

	Seite
V o r b e m e r k u n g	1
E i n l e i t u n g u n d P r o b l e m s t e l l u n g	1
M e t h o d i k	8
E r g e b n i s s e	13
I. Teil: Standorte, Klimate, Bodenarten und Wirkung der Umlagerung	13
A. Lage der Standorte	13
B. Anlage und Durchführung des Versuches	14
C. Die Klimate	17
D. Eigenschaften der Standortböden	26
1. Profilbeschreibung	26
2. Physikalische und chemische Merkmale	26
3. Mikrobiologische Merkmale	37
a. Mikrobiologische Merkmale der Oberböden	37
b. Mikrobiologische Merkmale der Unterbodenschichten	41
E. Ergebnisse der Umlagerung der Standortböden	49
1. Wirkung der Umlagerung auf die Oberböden	49
a. Physikalische und chemische Merkmale	49
b. Mikrobiologische Merkmale	52
2. Wirkung der Umlagerung auf die Unterbodenschichten	55
a. Chemische Merkmale	55
b. Mikrobiologische Merkmale	
F. Erträge und Wachstum höherer Pflanzen	57
G. Zusammenfassende Auswertung	60

II. Teil: Verhalten der verlagerten Böden, der Erträge und der Stalldungwirkung in Abhängigkeit vom Standort	73
A. Verhalten der Oberböden	73
1. Physikalische Merkmale	73
2. Chemische Merkmale	77
3. Mikrobiologische Merkmale	84
B. Verhalten der Unterbodenschichten	100
1. Chemische Merkmale	100
2. Mikrobiologische Merkmale	104
C. Standortmittelwerte und statistische Auswertung	106
1. Oberböden	108
2. Unterbodenschichten	114
D. Wirkung der Standorte auf die Erträge und das Wachstum höherer Pflanzen	121
E. Vergleich der verlagerten Böden mit den umgelagerten Standortböden unter Berücksichtigung der Haupttendenzen und Korrelationen	126
1. Merkmale der Oberböden und Erträge	127
2. Merkmale der Unterbodenschichten	138
F. Veränderungen der verlagerten Böden im zeitlichen Verlauf des Versuches	143
G. Wirkung des Stalldunges	147
D i s k u s s i o n	160
Z u s a m m e n f a s s u n g	183
L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s	189
T a b e l l e n a n h a n g	203

V o r b e m e r k u n g

Es ist bekannt, dass unterschiedliche klimatische Bedingungen verschiedene Bodenarten entstehen lassen bzw. Bodenarten zu verschiedenen Bodentypen umwandeln können, aber es ist wenig bekannt über die Zeiträume, in denen diese Vorgänge ablaufen. Um einen experimentellen Beitrag zur Klärung dieser Frage zu erarbeiten, wurden vier Bodenarten verschiedener Standorte so verlagert, dass sie in jedem Standort vorhanden waren. Jeweils die Hälfte der Parzellen wurde mit Stalldung versehen. Um auch die Einflüsse des Verlagerungsvorgangs zu erfassen, wurde der jeweilige Standortboden ebenfalls ausgehoben, aber am gleichen Standort wieder eingelagert. Der Transport in fremde Standorte wird daher im Folgenden als *V e r l a g e r u n g*, die analoge Behandlung des am Standort verbliebenen Vergleichsbodens als *U m l a g e r u n g* bezeichnet. Mit dem unbehandelten Originalstandortboden ergaben sich dabei 40 Varianten, an denen 30 Hauptmerkmale bestimmt wurden. Die meisten Merkmale wurden wiederholt in verschiedenen Jahren untersucht. In dem I. Teil dieser Arbeit werden die Standorte und Klimadaten, Bodenarten und Behandlungen, im II. Teil die Einflüsse der Verlagerung beschrieben. Die bei der Fruchtfolge Kartoffeln - Hafer erzielten Erträge werden hier nur insoweit berücksichtigt, als sie zusammen mit den klimatischen Faktoren den Charakter des Standorts wiedergeben und insofern sie Ausdruck der Wechselwirkung mit dem Boden sind. Es ist beabsichtigt, hierüber eingehender an anderer Stelle zu berichten.

E i n l e i t u n g u n d P r o b l e m s t e l l u n g

Seit den Forschungen von HILGARD (1873) in Amerika und DOKUCAEV (1879) in Russland weiss man, dass die Bodenbildung ein Prozess ist, der durch Kräfte der Umwelt gesteuert wird. Die von da ab intensiv betriebenen Forschungen konnten zeigen, dass zu diesen Kräften vor allem Klima, Muttergestein, Wasser, Relief, Flora, Fauna und Zeit zu rechnen sind. Sie wirken nach bestimmten Gesetzmässigkeiten. Hierauf gründet die Wissenschaft von der genetischen Pedologie. Das Ergebnis ihrer Bemühungen ist die auf genetische Typen aufgebaute Systematik der Böden. Je nach der

Konstellation und der Intensität der wirkenden Faktoren kann die Bodenbildung Jahrhunderte bis Jahrtausende in Anspruch nehmen. Sie bilden eine Funktionseinheit, wirken aber als unabhängige Variable (JENNY 1941, 1958; KUBINA 1949; PALLMANN 1942; LAATSCH 1954). Dabei kommt dem Klima jedoch eine bedeutende bis dominierende Wirkung zu. Es wirkt vor allem durch die Menge und Verteilung der Niederschläge, die Temperatur sowie durch die Länge der kalten und warmen Jahreszeit. Die jeweilige Kombination der Klimafaktoren führt zu charakteristischen Klimatypen, die geradezu zu einem Ordnungsprinzip in der Boden-genese wurden und vor allem ein Verständnis für zonale Bodenbildungen grossräumiger Landschaften ermöglichten. Bei der Einteilung der Böden kleinerer Landschaften war dieses Prinzip aber nicht immer anwendbar, weil unter relativ einheitlichem Klima oftmals ganz verschiedene Bodenbildungen anzutreffen sind. Sie sind dann durch Unterschiede zwischen den übrigen Faktoren wie Muttergestein, Relief, Untergrundbeschaffenheit, Pflanzenbestand usw. bedingt (LAATSCH 1934 - 36). Dennoch treten gewisse Grundtendenzen des Klimas beherrschend hervor. Sie zeigen sich vor allem in der Bewegungsrichtung des Wassers. Überwiegen die Niederschläge die Verdunstung (humid), so kommt es mehr oder weniger zu stärkeren Verwitterungs- und Auswaschungserscheinungen. Im entgegengesetzten Fall (arid), tritt die Verwitterung zurück und die oberen Horizonte reichern sich mit Salzen an.

Die an der Bodenbildung beteiligten Faktoren lassen sich also ihrem Ursprunge nach drei verschiedenen Bereichen zuordnen: Dem kosmogenen (Temperatur, Niederschläge, Licht), dem pedogenen (Gestein, Relief, Exposition) und dem biogenen (Mikroorganismen, Tiere, Pflanzen) Bereich. Die biogenen Faktoren stehen dabei als vermittelndes Glied gewissermassen in der Mitte zwischen den pedogenen und den kosmogenen. Sie vor allem bewirken Anreicherung und Austausch von Stoffen und formen diese zu völlig neuen Verbindungen (z.B. Humus) um. Ohne ihre Mitwirkung würde das Klima lediglich Verwitterungs- und Verlagerungserscheinungen zur Folge haben. Die einzelnen Bodenbildungsfaktoren stehen nach EHWALD (1959) in einem so engen Stoff- und Energieaustausch, dass sie eine besondere "Geosphäre" bilden. EHWALD stellt weiter mit berechtigter Betonung fest, dass bei der Betrachtung einer Bodenentwicklung immer von der gesamten "Biogeocoenose" auszugehen ist.

Die Vegetation schützt einerseits den Boden vor Wind, Regen und Sonne, andererseits wirkt sie nährstoff- und wasserentziehend sowie lockernd bis in tiefe Schichten hinein. Ihre Rückstände bilden die energetische und stoffliche Grundlage der Bodentiere und der -mikroorganismen sowie die Ausgangsbasis für die Art und Menge des Humus.

Die fressenden und wühlenden Bodentiere sorgen für die Zerkleinerung der organischen Substanz, bilden z.B. Huminsubstanzen und vermischen die organischen Rückstände mit dem übrigen Bodenkörper. Dadurch wird der Boden gelockert und mit Gängen durchzogen. Die mischende Tätigkeit der Regenwürmer kann gelegentlich so stark sein, dass die ursprüngliche Oberfläche durch Exkrementablagerungen verdeckt wird. Aber auch eine umgekehrte Verlagerung ist möglich, wie das wohl erstmalig von GRAFF (1967) an den Auskleidungen ("Tapeten") von Gängen der Art Lumbricus terrestris nachgewiesen wurde.

Die Mikroorganismen, insbesondere die Bakterien, stehen innerhalb der Bodenlebensgemeinschaft nach Umfang und Bedeutung mit an erster Stelle. Sie sind u.a. vor allem an Umformungs- und Mineralisierungsvorgängen beteiligt. Ihre Stoffwechselprodukte in Form von Schleimstoffen tragen zur Bildung stabiler Bodenkrümel (Lebendverbauung) und damit zur besseren Luft- und Wasserführung bei. Wirkstoffe der Mikroorganismen scheinen nicht nur Keimung und Wachstum, sondern auch die Resistenz höherer Pflanzen positiv zu beeinflussen.

Ausser vom Substrat wird die Bodenlebewelt vor allem noch von den Klimafaktoren beeinflusst. Dabei ist zu beachten, dass die einzelnen Arten sehr unterschiedliche Ansprüche stellen. Sie werden ihren Ansprüchen entsprechend zu Ökogruppen zusammengefasst und in bezug auf Bedarf bzw. Verträglichkeit an Wasser werden Xero-, Hygromeso- und Hygrophile, in bezug auf die Temperatur Psychro-, Meso- und Thermophile (bzw. -tolerante) unterschieden. Ein Wassergehalt von mehr als 60 % der maximalen Wasserkapazität (WK)

bzw. von mehr als 90 % der rel. Luftfeuchtigkeit fördert im allgemeinen besonders die Bakterien, während niedrigere Wassergehalte meist mehr die Pilze und Streptomyceten zum Durchbruch verhelfen (EGGLETON 1938; JAGNOW 1957; ISHIZAWA et al. 1958; WAKSMANN 1960; WALTER 1962; GRIFFIN 1963). Der Grund hierfür wird vor allem in der höheren Osmotoleranz der Pilze und Streptomyceten gesehen. Auch die Umsatzleistungen werden durch den Wassergehalt stark beeinflusst. Das Maximum wurde meist bei etwa 60 % der max. WK gefunden. Bei weiter ansteigendem Wassergehalt wird andererseits z.B. die NO_3 -Bildung schneller gehemmt als die NH_4 -Bildung, weil ein Teil der die N-Verbindungen abbauenden Organismen auch noch im anaeroben Bereich tätig ist (GRAEVES 1914; BECK 1968). Je höher nun die Wassersättigung eines Bodens, desto geringer ist die O_2 -Versorgung. Bei stark anaeroben Verhältnissen kann es schliesslich zu einer Häufung von sehr unerwünschten mikrobiellen Umsetzungen kommen, die sich in der Bildung von Methan, Wasserstoff, Schwefelwasserstoff, Distickstoffoxyd, Distickstoff, Manganknollen, Eisenkonkretionen, organischen Säuren u.a. äussern. Auf die Dauer führen solche Prozesse zu einseitigen Bodenbildungen und zur Anreicherung toxisch wirkender Stoffe. Die Folge ist schliesslich eine Vereinsseitigung der gesamten Bodenlebewelt. Zu trockene Bedingungen dagegen hemmen die Umsetzungen überhaupt.

Die Temperatur wirkt erst unter -10° und über $+75 - 80^\circ\text{C}$ absolut hemmend (INGRAHAM und STOKES 1959). Die stärksten Vermehrungen und Umsetzungen der Bodenmikroorganismen finden jedoch im mesophilen Bereich, also zwischen etwa $25 - 35^\circ\text{C}$, statt (BECK 1968). Die Bodentemperaturen der gemässigten Zonen liegen aber auch im Sommer in der Regel noch unterhalb dieses Bereiches. So wurde im Raum Giessen im Laufe von zwei Jahren in 5 cm Bodentiefe nur selten eine Temperatur von 25°C erreicht. Meistens bewegte sie sich in den drei Sommermonaten zwischen $17 - 20^\circ\text{C}$ (AHRENS und v. KLOPOTEK 1970). Andererseits finden Umsetzungen aber auch noch um und unterhalb des Gefrierpunktes statt (SCHILLER 1954; BARDTKE 1958;

RACHNO 1960). Nach KOEPP (1953) folgt die CO_2 -Bildung des Bodens im Bereich von $+10$ bis $+40^\circ\text{C}$ besonders exakt der Van t'Hoff'schen Regel, nach welcher bei einem Temperatursprung von 10°C die Umsetzungen im allgemeinen um das 2- bis 3fache gesteigert bzw. gesenkt werden. Leistung und Vermehrung aber haben nicht immer das gleiche Optimum (BECK 1968). Obwohl nur im Sommer die Temperatur höchstens der äusseren Bodenoberfläche bis in den thermophilen Bereich ansteigt, lassen sich dennoch überall, auch z.B. aus arktischen Böden, thermophile Mikroorganismen isolieren (JEGOROWA 1938; McBEE und McBEE 1956). Aber Mikroorganismen aus warmen bzw. tropischen Erdgebieten haben nach MISCHUSTIN (1933) sowie DHAR und TANDON (1936) ein ca. 10°C höheres Temperaturoptimum (zwischen $35 - 38^\circ\text{C}$) als solche aus gemässigten ($25 - 28^\circ\text{C}$). Sogar Temperaturunterschiede von nur wenigen Graden können sowohl die verschiedenen Arten der Bodenfauna (PROVASOLI 1958) als auch die der Bodenflora (NIETHAMMER 1942/43) unterschiedlich beeinflussen. Dabei scheint das Verhalten der Organismen zur Temperatur im wesentlichen eine labile Adaptationserscheinung zu sein (vgl. PRECHT et al. 1955). FEHER (1933) sowie FEHER und FRANK (1937, 1938) haben die Faktoren Wasser und Wärme sowohl im Freiland als auch im Laboratorium eingehend geprüft. Sie fanden eine Abhängigkeit der Keimzahlen von den numerischen Werten beider Faktoren. Das Produkt der numerischen Werte wurde als "R-Faktor" (Resultierender Faktor) bezeichnet. MÜLLER (1965) wies nach, dass die grösste Abhängigkeit vom R-Faktor zwischen dem Minimum und Optimum liegt. Die Abhängigkeit von diesen Faktoren machte sich z.B. bei Pilzen nicht nur grossräumig (MUSKAT 1955), sondern auch in engbegrenzten Gebieten wie bei Nord- und Süd-Hanglagen (RIPPEL 1940) oder bei unterschiedlicher Meereshöhe (KREHL-NIEFFER 1951; NIETHAMMER et al. 1959) in dem Sinne bemerkbar, dass die wärmere Lage den Artenreichtum und die Zahl der wärmeliebenden Arten förderte. Wenn nun die Bodenentwicklung unter verschiedenen Klimaten bzw. sogar an Nord- und Südhängen trotz gleichen Ausgangsmaterials verschiedene Richtungen nehmen kann, so ist neben den physikalischen und chemischen Faktoren auch die Organismenwelt wesentlich daran beteiligt. Umgekehrt kann die Organismenwelt als Indikator für die herrschenden Umweltfaktoren herangezogen werden.

Mensch und Zeit nehmen bei der Bodenentwicklung eine besondere Stellung ein. Die Zeit ist allen Vorgängen gleichermaßen immanent. Der Mensch aber tritt im Gegensatz zu allen übrigen Faktoren, die a priori eine naturgegebene Funktionseinheit bilden, von Fall zu Fall hinzu und beeinflusst den Boden mehr oder weniger willkürlich bis zur Bildung ausgesprochen anthropogener Böden (z.B. Plaggenböden) oder bis zur völligen Zerstörung.

Die Wirkungen, die die einzelnen Komponenten auf den Boden ausüben, sind weitgehend erforscht und bekannt und brauchen hier nicht noch näher erläutert zu werden (vgl. RUSSEL und ENGLE 1925; STEBUT 1930; JENNY und LEONHARD 1934; STREMMER 1936; LAATSCH 1937; VILJAMS 1949; EHWALD 1959; MÜCKENHAUSEN 1962;). Dabei ist von Wichtigkeit, dass sie nicht nur auf die Krume, sondern auch auf den Untergrund in charakteristischer Weise Einfluss nehmen, woraus dann typische Horizontierungen, Verfärbungen und Verlagerungen resultieren (BRYAN et al. 1943).

Die Entwicklung eines Bodens kann sehr verschiedene Metamorphosen durchlaufen, insbesondere, wenn sich die Bedingungen einer Entwicklungsreihe ändern, die sowohl aufbauend als auch entgegengesetzt wirken können. Rückschreitende Metamorphosen werden vielfach auch mit Bodenalterung bzw. -degradierung bezeichnet. Sie weisen sich in der Regel durch eine Leistungsverminderung aus. Die Dauer einzelner Entwicklungsstadien richtet sich nach der Intensität der wirkenden Komponenten. So wird die Entwicklung mitteleuropäischer Böden von den Anfängen bis zu ihrem heutigen Zustand, z.B. vom Rohboden über Ranker, Braunerde bzw. Rankerbraunerde bis zum Podsol, auf einige tausend Jahre geschätzt. Im Gebiet der Pasterze, in dem ganze Typenreihen nebeneinander vorkommen, hat nach Untersuchungen von FRIEDEL (1934) und KUBIENA (1948) die Entwicklung bis zur Braunerde ca. dreihundert, bis zum Podsol aber weit über tausend Jahre gedauert. Eine Entkalkung der Marschen wird auf zwei- bis dreihundert Jahre geschätzt (SCHUCHT 1930; HISSINK 1938;). In welchem Umfange Mineralstoffe, insbesondere Kalk, selbst unter den gemässigt humiden Verhältnissen des west- und mitteleuropäischen Raumes, ausgewaschen werden (ca. 300 - 500 kg/ha/Jahr), haben vor allem Untersuchungen an Lysimeteranlagen (PFAFF 1937; COPPENET 1969;) gezeigt.

Intensität und Dauer der Formung und Entwicklung eines Bodens können heute (fast ausschliesslich) nur durch Ursachenverknüpfung bzw. durch

Indiziennachweis rekonstruiert werden, weil sich die meist weit zurückliegenden Anfänge der direkten Beobachtung entziehen. Ein unmittelbares Verfolgen der Entwicklung ist allenfalls bei trocken gelegten oder frisch eingedeichten Böden möglich. Die Wirkungen klimatischer Veränderungen entziehen sich aber insofern der direkten Beobachtung, als sie seit der Zeit, von der ab der Mensch in der Lage ist Untersuchungen an Böden durchzuführen, offenbar nicht in nennenswertem Masse eingetreten sind. Zu diesem Fragenkomplex, insbesondere zu der Wirkung klimatischer Unterschiede auf die mikrobiologischen Merkmale des Bodens in einem beschränkten Zeitraum, sollen die folgenden Untersuchungen einen Beitrag liefern. Die Grundlage dazu bildet ein von GLATHE in Zusammenarbeit mit SAUERLANDT und dem damaligen Institut für Humuswirtschaft (jetzt Institut für Bodenbiologie) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft Braunschweig-Völkenrode im Jahre 1952 angelegter sogenannter "Klimaversuch" (GLATHE 1954). Schon vor dem 2. Weltkrieg war GLATHE von Leipzig aus Initiator eines Klimaversuchs mit den Standorten Hamburg, Schlanstedt, Leipzig und Anaberg gewesen, der aber infolge der Nachkriegsereignisse nicht weiter fortgeführt werden konnte. Der 1952 angelegte Versuch liegt in Nord-Süd-Richtung verteilt und zwar in den Standorten Lentföhrden (Schleswig-Holstein), Völkenrode (Niedersachsen), Erndtebrück (Westfalen) und Lilienhof/Kaiserstuhl (Baden-Württemberg). Die vier Standorte unterscheiden sich sowohl im Klima als auch im Bodentyp. Indem man nun die vier Böden dieser Standorte jeweils in die 3 anderen Standorte verlagerte, wurden sie neuen, veränderten Klimabedingungen ausgesetzt. Die mit der Verlagerung verbundenen tiefen Eingriffe in das natürliche Bodengefüge mussten dabei in Kauf genommen werden.

Darin, dass bereits entwickelte Böden mit weitgehend sekundären Bildungen einem jeweils anderen Klima exponiert wurden, liegt natürlich ein fundamentaler Unterschied zur ursprünglichen Bodenbildung aus Primärmaterial. In dieser Fragestellung ist jedoch nichts ungewöhnliches zu sehen, denn die heutigen Bodentypen unseres Raumes haben sich meist auch nicht gradlinig entwickelt, sondern haben aufgrund der im Laufe der Geschichte aufgetretenen Klimaänderungen schon Umbildungen der verschiedensten Art erfahren (SCHÖNHALS 1954a,b). Bei dem Klimaversuch sollte also lediglich modellhaft nachgeahmt werden, was auch unter natürlichen Verhältnissen stattgefunden hat. In diesem Falle stand allerdings bis jetzt nur eine sehr kurze Zeit (von 1952

bis zu den Hauptuntersuchungen 1965 - 68) zur Verfügung und die klimatischen Unterschiede waren relativ gering.

Der Klimaversuch wurde in Form eines Kastenversuches angelegt. Nach SCHROPP (1961) wurden Kastenversuche, die als Übergangsformen vom Gefässversuch zum Feldversuch angesehen werden können, schon im vorigen Jahrhundert von HANAMANN, WAGNER und WOHLTMANN durchgeführt. In neuerer Zeit wurden Kastenversuche mit Bodenverlagerung ausser von GLATHE noch von E.v.BOGUSLAWSKI und von VOIGTLÄNDER angelegt. E.v.BOGUSLAWSKI (1965) prüft seit 1954 in den Standorten Rauischholzhausen, Giessen und Gross-Gerau Fragen der Bodenfruchtbarkeit und der Ökologie. VOIGTLÄNDER (1964) bearbeitete Ertragsprobleme. Seine Standorte waren Hohenheim bei Stuttgart und Oberer Lindenhof auf der schwäbischen Alb.

M e t h o d i k =====

Am Beginn der eigenen Untersuchungen stand die Frage im Vordergrund, ob wenige Merkmale häufiger oder ob viele Merkmale in grösseren Abständen geprüft werden sollten. Die Alternative ergab sich durch die grossen Standortentfernungen und durch die Arbeitskapazität. Es wurde zugunsten der grösseren Auswahl der Merkmale entschieden, auch weil nicht vorauszusehen war, welche Bodenmerkmale Veränderungen zeigen würden. Somit lag der Zweck der vorliegenden Untersuchungen vor allem darin, eine Bestandsaufnahme möglicher Bodenveränderungen wiederholt und auf breiter Basis durchzuführen. Dabei lag das Schwergewicht auf den mikrobiologischen Merkmalen. Physikalische und chemische Merkmale durften aber nicht unberücksichtigt bleiben, soweit sie zur Abrundung des Bildes und zur Erklärung mikrobiologischer Vorgänge notwendig schienen. Um zufällige Wetter- und Jahreszeiteinflüsse auszuschalten, wurden Proben aus verschiedenen Jahren und Jahreszeiten untersucht. (s. Abb.5). Orientierende Voruntersuchungen wurden 1962 begonnen. Danach fand je eine Probenahme in den Jahren 1965 - 68 statt. Im Jahre 1962 wurden die Zonen 0 - 10 und 10 - 20 cm getrennt, 1965/66/67 wurden Mischproben aus 0 - 20 cm und zum Abschluss 1968 wurden drei verschiedene Bodentiefen (0 - 20, 20 - 40 und 40 - 60 cm) untersucht. Wegen des grossen Material- und Zeitaufwandes konnten nicht immer alle Merkmale berücksichtigt werden. Der Hauptwert wurde auf Azotobacter und auf die Atmungs- bzw. Enzymaktivität gelegt und zwar deshalb, weil Azotobacter als empfindlicher Testorganismus für Bodenveränderungen

bekannt ist, und die Umsetzungsaktivitäten einen Gesamteindruck über die "biologische Aktivität" bzw. die mikrobielle Verfügbarkeit organischer und mineralischer Nährstoffe gestatten.

Für die Bestimmung der Keimzahlen wurden die Böden so weit wie möglich in frischem Zustand untersucht. Da diese jedoch von verschiedenen Standorten mit unterschiedlicher Temperatur und Feuchtigkeit stammten, wurden von Proben des Jahres 1966 nochmals Zählungen nach vorausgegangenen einheitlichen Bedingungen und zwar sowohl im luft-trockenen als auch im wiederbefeuchteten Zustand (52 % max. Wasserkapazität, 7 tägige Inkubation bei 25°C) durchgeführt. Die Umsetzungsversuche fanden sowieso immer unter gleichen Bedingungen (52 % WK, 25°C statt. Da sich 1962 innerhalb der Tiefen 0 - 10 und 10 - 20 cm überhaupt keine Unterschiede gezeigt hatten, wurden die Mittelwerte aus beiden Tiefen errechnet. Die entnommenen Proben wurden mit dem Kraftwagen so schnell wie möglich ins Laboratorium transportiert. Im Falle einer verzögerten Untersuchung wurden die Proben verschlossen bei + 4°C aufbewahrt. Diese Temperatur gestattet eine weitgehende Konstanz der Keimzahlen (Niese 1970, Ahrens 1971).

Die Erträge konnten bei Kartoffeln von 8, bei Hafer von 6 Jahren ausgewertet werden. Da anzunehmen war, dass neben den Boden- vor allem Klimafaktoren einen bedeutsamen Einfluss auf die Ertragsbildung ausgeübt haben, wurde zur Prüfung nur der bodeneigenen Wachstumsfaktoren noch ein Vegetationsversuch mit Winter-Raps unter konstanten Bedingungen im Gewächshaus durchgeführt.

Nur die Ergebnisse der Verlagerung wurden statistisch (varianzanalytisch) verrechnet, weil im Falle des Umlagerungseffektes nicht genügend Werte zur Verfügung standen. Wegen der Fülle der Ergebnisse kann im wesentlichen nur mit den Mittelwerten aus allen Einzeluntersuchungen operiert werden. Nur in besonderen Fällen werden auch die Ergebnisse einzelner Jahre wiedergegeben. Die statistischen Berechnungen wurden bis auf die Endauswertung (Ermittlung der Grenzdifferenz) im Rechenzentrum der Universität Giessen durchgeführt.

Der Einfachheit halber werden im folgenden Text verschiedene Abkürzungen gebraucht. Zu den bei den einzelnen Methoden und Merkmalen genannten wird noch auf folgende hingewiesen:

o. St.	= ohne Stalldung
m. St.	= mit Stalldung
(o)	= kein Vergleichswert vorhanden
n. b.	= nicht berechnet bzw. nicht berechenbar

Die Untersuchungsgänge wurden nach folgenden Methoden durchgeführt:

1. Wasser-Kapazität (max. WK) in Anlehnung an MITSCHERLICH 1949;
2. Korngrößen nach dem Pipettier- und Siebverfahren nach HERRMANN 1955 bzw. STEUBING 1965. Bei mehr als 2 % C wurden die Proben mit H_2O_2 und $300^\circ C$ vorbehandelt;
3. pH-Wert elektrometrisch in 0,1 N KCl;
4. Hydrolytische Acidität (Hy) nach HERRMANN 1955;
5. Carbonate nach SCHEIBLER, s. HERRMANN 1955;
6. Austausch-Kapazität (AK) nach HOFFMANN, s. FIEDLER 1965. Die Einzelkationen K und Na wurden flammenphotometrisch (Propangas), Ca und Mg titrimetrisch (JACKSON 1958, MERCK) ermittelt. Bei Anwesenheit von Carbonaten wurde Ca und Mg aus der Differenz der AK und der Summe der H-, K- und Na-Werte errechnet;
7. Kalium und Phosphor mit Doppellactatlösung (DL) nach EGNER-RIEHM, s. HERRMANN 1955 und Arbeitsvorschrift des Instituts für Bodenkunde Giessen;
8. Gesamt-Stickstoff (N_t) nach KJELDAHL modifiziert FOERSTER, s. NEHRING 1960;⁺
9. Gesamt-Kohlenstoff (C_t) durch Nassoxydation, s. SCHLICHTING und BLUME 1966;⁺
10. Humusfraktionen nach KONONOWA und BELTSCHIKOWA, s. FIEDLER 1965;
11. Keimzahlen (KZ) nach dem Kulturverfahren. Zunächst wurde der Boden im Verhältnis 1 : 10 (20 g Boden) mit einer sterilen 0,18 %igen Lösung von Na-Pyrophosphat eine Stunde lang rotierend (50 U/min) dispergiert (GLATHE u. AHRENS 1963, 1968; VERMA 1964). Weitere Verdünnungen wurden mit sterilem Leitungswasser nach dem Zehntelungsverfahren vorgenommen. Je Verdünnung wurden 3 Platten bzw. Röhrchen mit je 1 ml Suspension beimpft. Azotobacter, Bakterien-Keimzahl

⁺) Die Proben von 1962 wurden in Kiel untersucht. Die Ergebnisse wurden von KÖHNLEIN freundlicherweise zur Verfügung gestellt, wofür an dieser Stelle herzlichst gedankt sei.

und Schimmelpilze wurden 7, Streptomyceten 14 und Cellulose-zersetzer 21 Tage bei 25° C bebrütet. Folgende Nährböden wurden verwendet:

- a. Azotobacter (AzKZ) mit Mannit-Agar, s. AHRENS 1966;
- b. Bakterien-Keimzahlen (BKZ) mit Bodenextrakt-Glucose-Agar, s. VERMA 1964;

Unter "Bakterien-Keimzahlen" werden nicht spezifizierte Arten von Bakterien verstanden, die auf dem verwendeten Kollektivnährboden zur Entwicklung kamen;

- c. Pilze^{+) (PiKZ)} mit Malzextrakt-Agar;
- d. Streptomyceten (StKZ) mit Haferflocken-Agar, s. KÜSTER 1959, AHRENS 1967;
- e. Cellulosezerersetzer (CeKZ) mit Nährlösung nach DUBOS 1928 und durch Auswertung nach der M.P.N.-Methode von McCRADY 1918;

12. Dehydrogenase-Aktivität (DHA) nach THALMANN 1967, mit einheitlich 0,5 % TTC;
13. Ammonium-Stickstoff (NH₄) durch Destillation mit MgO in KCl-Aufschwemmung nach BRENNER 1965;
14. Nitrat-Stickstoff (NO₃) durch Extraktion mit Wasser und mit Na-Salicylat als Indikator photometrisch nach DEUTSCHE EINHEITSVERFAHREN ZUR WASSERUNTERSUCHUNG 1960;
15. Kohlendioxid (CO₂) in Anlehnung an ISERMEYER 1952, jedoch mit 0,1 N KOH als Vorlage;
16. Sauerstoff-Verbrauch (O₂) nach eigenem Verfahren. Da ein Warburg-Gerät während des Untersuchungszeitraums nicht zur Verfügung stand, wurde nach gegebenen technischen und finanziellen Möglichkeiten Reaktionssysteme nach eigenen Vorstellungen entwickelt. Sie funktionieren nach dem Prinzip der Volumendifferenz. Die weitere Berechnung des O₂-Verbrauches erfolgte dann nach der üblichen Formel (RÖMPP 1958):

$$V_o = \frac{V (P - p) 273,2}{760 (273,2 + t)}$$

Der Vorteil dieser Gefäße bestand darin, dass mit 100 g Boden gearbeitet werden konnte. In ihnen standen ca. 480 ml Luft zur Verfügung.

^{+) Die PiKZ von 1962/65 wurden von A.v.KLOPOTEK (1967) ermittelt und hier übernommen;}

Nur für die DHA wurde bei 30° C inkubiert, in allen anderen Fällen bei 25° C.

17. Vegetationsversuch mit Wi-Raps. Da für den Vegetationsversuch nur beschränkte Mengen an Boden zur Verfügung standen, wurden hierfür kleine Plastik-Blumentöpfe (9 x 9,5 x 12 cm) verwendet. Je Topf wurde ein Gemisch aus 250 g Boden und 250 g Quarzsand angesetzt (je Probe mit 4 Parallelen) und stets auf 60 % der WK gehalten. Die Gefäße wurden in der Klimakammer des Gewächshauses nach der Zufallsverteilung aufgestellt. Die Temperatur wurde auf 14 - 16° C, die Luftfeuchtigkeit auf 70 - 80 % gehalten. Die Böden stammten zu gleichen Teilen von Proben des Jahres 1967 und 1968.

Ergebnisse

I. Teil: Standorte, Klimate, Bodenarten und Wirkung der Umlagerung

Die Auswahl der Standorte erfolgte gemäss der Versuchsfrage in erster Linie nach klimatischen Unterschieden. Darüberhinaus musste an den betreffenden Standorten die Möglichkeit einer technischen Betreuung gewährleistet sein.

A. Lage der Standorte

Die Lage der Standorte längs des 8. und 10. Grades geographischer Länge und zwischen dem 48. und 54. Grad geographischer Breite (auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland) ist aus Abb. 1 ersichtlich.

Abb. 1

Geographische Lage der Standorte Lentförden (s), Völkenrode (n), Erndtebrück (w) und Lilienhof (b)



Standort "Lentföhrden" liegt ca. 40 km nördlich von Hamburg auf dem Gelände des Versuchsfeldes der Bundesanstalt für MilCHForschung Kiel. Nach KÖHNLEIN und SCHLICHTING (1959) war das Gebiet früher "flächig verheidet und später bis zum Jahre 1905 von einem stark verheideten Fichtenwald bestockt. Nach der Vernichtung der Waldvegetation durch einen Grasbrand waren die Flächen bis zur Kultivierung von Calluna - und auf den feuchteren Standorten von Erica-Heiden bedeckt". Die landwirtschaftliche Nutzung erfolgte seit 1917.

Standort "Völkenrode" befindet sich auf dem Gebiet der Forschungsanstalt Braunschweig-Völkenrode. Die Betreuung des Versuches lag in Händen des Instituts für Bodenbiologie (früher Institut für Humuswirtschaft). Zur Charakterisierung des Gebietes kann gesagt werden, dass sich ohne menschlichen Einfluss die natürliche Vegetation wahrscheinlich dem Typ eines Stieleichen-Birkenwaldes angleichen würde (WEISE, zit. GRAFF 1964).

Standort "Erndtebrück" liegt auf dem Gelände des ehemaligen Versuchsgutes Erndtebrück der Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe in unmittelbarer Nachbarschaft der dortigen Landwirtschaftsschule und Wirtschaftsberatungsstelle. Das Gelände ist durch südöstliche Ausläufer (Hangschuttverwitterung) des Rothaargebirges geprägt. Die Betreuung wurde durch die Landwirtschaftsschule Erndtebrück wahrgenommen.

Standort "Lilienhof" befindet sich im südöstlichen Gebiet des Kaiserstuhls (westlich von Freiburg im Br.) in einer Windschutzlage am Talhang einer ehemaligen Weinbergterrasse. Der dortige Versuch wurde von Mitarbeitern des Regierungspräsidium Freiburg (Südbaden) betreut.

B. Anlage und Durchführung des Versuches

Zum Zwecke der Verlagerung wurden die Böden schichtweise (0 - 20 - 40 - 60 cm Tiefe) aufgegraben (je Boden ca. 12 t Erde), in Säcke gefüllt und per Lastzug in die jeweiligen Standorte transportiert. Hier wurden sie dann wieder nach ursprünglicher Schichtung eingelagert (Abb. 2). Die Fläche einer jeden Parzelle misst 2 x 6 m, die Tiefe 60 cm.

Abb. 2

Anlage des Versuches in Lentföhrden im Jahre 1952



An jeder Querseite der Parzellenanlage wurde ausserdem eine nicht umgeschichtete Standortbodenparzelle eingerichtet, die die Eigenschaft des gewachsenen Bodens aufweist. (Leider konnte der Versuch wegen des enormen Aufwandes nicht in Wiederholungen angelegt werden). Die Parzellen sind durch Zwischenwege von 35 cm Breite abgegrenzt und oberflächlich bis ca. 15 cm tief mit Brettern eingefasst. In den tieferen Schichten sind die Parzellen nicht von dem umgebenden Boden isoliert. An den Längsseiten ist ein Rand von 60 cm Breite angelegt, der in gleicher Weise wie die Parzellen behandelt wurde. Die Böden wurden bis zum Jahre 1971 (seit 1971 konnte der Versuch aus technischen Gründen nicht mehr in der ursprünglichen Form weitergeführt werden, er wurde nun mit einer Grünlandmischung eingesät) im Wechsel mit Kartoffeln und Hafer nach folgendem Schema bebaut:

Kartoffeln

Hafer

Sorten: 1952 - 1964 Ackersegen
1966 Apis
seit 1968 Erbium

Carstens Phönix seit 1952

Düngung:

100 dz Stalldung/ha für 1/2 Parzelle

50 kg N/ha (Kalkammonsalpeter)

85 kg P_2O_5 /ha (Camaphos, seit 1966
Superphosphat)

120 kg K_2O /ha (Kalimagnesia)

50 kg N/ha (Kalkammonsalpeter)

51 kg P_2O_5 /ha (Superphosphat)

80 kg K_2O /ha (Kalimagnesia)

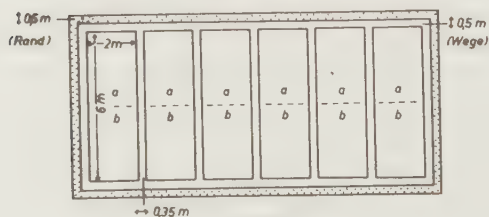
Stalldung wurde jeweils nur auf eine Hälfte der Parzellen (2 x 3 m) gegeben, daher die oben (S. 10) angegebene Bezeichnung "o.St." bzw. "m.St.". Herstellung und Pflege des Saatbettes erfolgten mit Handgeräten. Gejätetes Unkraut wurde in den Parzellen belassen. Saatgut und Dünger, auch Stalldünger, wurden zentral zunächst von Völkenrode, später von Giessen aus verschickt. Verbindliche Arbeitsanleitungen sorgten für eine einheitliche Versuchsdurchführung. Die Zeitpunkte der Bestellung, Pflege und Ernte waren jedoch im wesentlichen durch die klimatischen Verhältnisse gegebenen, konnten somit nicht einheitlich festgelegt werden. Ein Lageschema der Parzellen zeigt Abb.3.

Abb. 3

Lageschema der Parzellen des Klimaversuches

a = ohne Stalldung b = mit Stalldung

Lageschema



→ 0,35 m

Lageplan

Leinföhden	S ₁	S ₂	N ₁	W ₁	B ₁	S ₂
Völkenrode	N ₁	N ₂	S ₁	W ₁	B ₁	N ₂
Erndtebrück	W ₁	W ₂	S ₁	W ₁	B ₁	W ₂
Lilienhof	B ₁	N ₂	S ₂	W ₂	B ₂	B ₂

Zur Vereinfachung werden in den weiteren Ausführungen die Standorte und Böden häufig mit Symbolen, den Anfangsbuchstaben der Länder, in denen die Standorte liegen bzw. aus denen die Böden stammen, bezeichnet. Für den Boden steht ein grosser, für den Standort ein kleiner Buchstabe (s. Abb. 3). Steht ein grosser Buchstabe allein, so ist damit der nicht umgelagerte Originalstandortboden gemeint. Mit einem grossen und einem kleinen Buchstaben ist entweder ein umgelagerter oder ein verlagerter Boden bezeichnet. Aus der Kombination der Buchstaben ergibt sich die Lage, z. B.:

S = Originalstandortboden in Lentföhrden/Schleswig-Holstein;

Ss= umgelagerter, aber am Standort verbliebener Boden;

Sn= nach Völkenrode/Niedersachsen verlagerter Heidepodsol/Lentföhrden usw.....

C. Die Klimate

Temperaturen und Niederschläge für den Versuchszeitraum seit 1952 wurden mit Ausnahme von Lilienhof direkt an den einzelnen Standorten gemessen. In Lilienhof wurden die Messungen erst 1967 wieder aufgenommen. Für diesen Standort wurden deshalb Messwerte der ebenfalls im Kaiserstuhl gelegenen benachbarten Wetterstation Oberrotweil zugrundegelegt. Nach Auskunft des Wetteramtes Freiburg i.Br. wurden aber für den Standort Lilienhof teils aus früheren Messungen in Lilienhof selbst und teils aus anderen vergleichbaren Wetterstationen langjährige Mittelwerte (1871 - 1950) errechnet, die den tatsächlichen Verhältnissen dieses Standortes gerecht werden (vgl. Tab. 2). Nach diesen Werten lag Oberrotweil im Niederschlag tiefer, in der Temperatur ein wenig höher als Lilienhof.

Soweit greifbar, wurden zum Vergleich den Werten des Versuchszeitraumes langjährige Mittelwerte gegenübergestellt. In Lentföhrden wurden jedoch erst seit 1945, in Erndtebrück erst seit 1952 (ausser Niederschlag, der hier schon seit 1891 registriert wurde) regelmässige Aufzeichnungen vorgenommen. Für Erndtebrück gibt es der Lage nach keine vergleichbare Wetterstation, so dass nur die während der Versuchszeit gemessenen Werte vorliegen. Leider konnten die Aufzeichnungen in Erndtebrück ab 1967 nicht mehr fortgesetzt werden. Auch wurde hier die Temperatur nicht immer regelmässig gemessen, so dass von 15 Jahren 4 Jahre nicht auswertbar waren. Da dieser Standort aber sowohl in der Temperatur als auch im Niederschlag extrem

von den anderen abweicht, ist dennoch eine ausreichende Abgrenzung gegeben. Für Lentföhrden könnten langfristige Mittelwerte der Wetterstation Neumünster herangezogen werden. Es erscheint jedoch sinnvoller, 21jährige Werte des betreffenden Ortes als 50jährige Werte eines benachbarten wenn auch vergleichbaren Gebietes heranzuziehen. Für Völkenrode wurden die langfristigen Mittelwerte von Braunschweig zugrundegelegt. Zu einigen weiteren Kriterien (Frosttage, Eistage etc.) liegen von den betreffenden Standorten überhaupt keine Angaben vor, so dass in solchen Fällen auf benachbarte, vergleichbare Stationen zurückgegriffen werden musste.

Von besonderem Interesse ist die monatliche Verteilung von Temperatur und Niederschlag. Diese Werte sind für den Zeitraum 1952 - 66 in Tabelle 1 enthalten. Die Monatsverteilung wurde nur bis 1966 ausgewertet, weil von Erndtebrück lediglich bis zu diesem Zeitpunkt Angaben vorlagen und der Berichtszeitraum vergleichbar sein muss. Die Monatsmittelwerte sind der besseren Übersicht und Vergleiche wegen auch noch in Form von Klimadiagrammen nach WALTER und LIETH (1960) graphisch dargestellt (Abb. 4). Nach den vorliegenden Werten bzw. den darauf basierenden Diagrammen sind sich Lentföhrden und Völkenrode in ihrem Diagrammtyp ähnlich. In beiden Fällen besteht eine zweigipfelige Niederschlagskurve mit einem Maximum im Sommer und einem zweiten aber geringeren Gipfel im Dezember. In Lentföhrden wird das Sommermaximum allerdings erst im August, in Völkenrode schon im Juli erreicht. Ausserdem ist in Lentföhrden das Frühjahr trockener als der Herbst, während in Völkenrode die Verhältnisse umgekehrt liegen. In Lentföhrden wurden ferner ca. 100 mm mehr Niederschlag, aber um $0,9^{\circ}\text{C}$ geringere Durchschnittstemperaturen als in Völkenrode gemessen. Es bestehen also wesentliche quantitative Unterschiede.

Erndtebrück unterscheidet sich prinzipiell von allen Standorten durch eine dreigipfelige Niederschlagskurve und das Jahresmaximum, das hier nicht im Sommer, sondern im Dezember liegt. Ein zweiter Gipfel tritt im Juli und ein dritter kleinerer im Oktober auf. Der Herbst ist wie in Lentföhrden feuchter als das Frühjahr. Erndtebrück zeigt von allen vier Standorten die stärksten humiden Verhältnisse, d.h. den höchsten Niederschlag und die geringste mittlere Temperatur. Erosionsbegünstigend wirkt sich hier vor

allem die Tatsache aus, dass die höchsten Niederschläge zur Zeit der schwächsten Begrünung (Winter) auftreten.

Tab. 1

Klimadaten der Standorte
monatliche Verteilung von Niederschlag und Temperatur im Mittel
von 1952-66

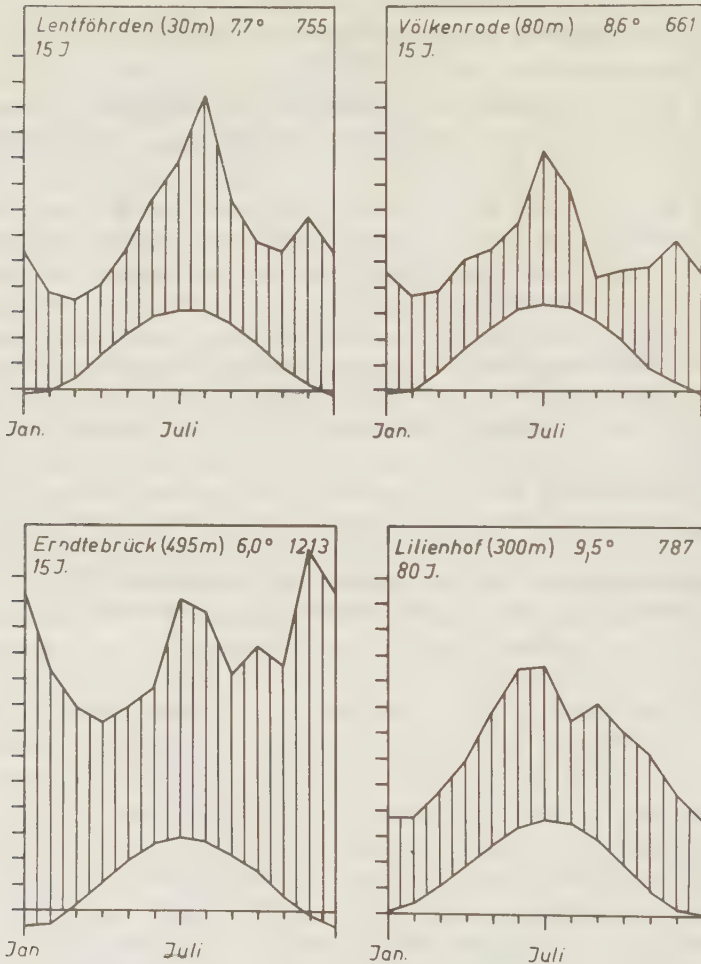
	Lentföhrden ¹⁾	Völkenrode ¹⁾	Erndtebrück ¹⁾	Lilienhof ¹⁾
	mm °C	mm °C	mm °C	mm °C
Januar	54 -0,5	46 -0,3	124 -3,0	39 0,0
Februar	38 -0,2	37 -0,1	93 -2,9	32 1,8
März	35 2,4	39 3,5	79 1,2	44 6,0
April	41 6,9	51 8,3	73 5,6	48 10,1
Mai	55 11,0	55 12,3	79 9,8	67 14,0
Juni	75 14,4	65 16,0	97 13,1	83 17,1
Juli	89 15,4	93 16,9	121 14,2	72 18,6
August	115 15,4	78 16,4	116 13,4	80 17,6
September	74 12,9	44 13,7	92 10,9	60 15,2
Oktober	58 9,0	47 9,7	103 7,8	42 10,0
November	54 3,9	48 4,5	95 2,6	44 4,5
Dezember	67 0,8	58 1,7	141 -0,9	38 2,4

1) nach Daten der benachbarten Wetterstation Oberrotweil

Abb. 4

Klimadiagramm der Standorte

1 Teilstrich auf der Ordinate = 10°C bzw. 20 mm Niederschlag



Anmerkung: Von Lilienhof wurde das langjährige Mittel zugrunde gelegt, weil vom Versuchszeitraum nur Werte aus Oberrotweil vorlagen.

Das Diagramm von Lilienhof zeigt wie Lentföhrden und Völkenrode wieder eine zweigipfelige Niederschlagskurve, wobei das Maximum im Juli erreicht wird. Der zweite Gipfel tritt jedoch nicht erst im Dezember, sondern schon im September auf. In den kalten Monaten (Dezember bis März) fällt in Lilienhof also weniger Niederschlag als in Völkenrode bzw. Lentföhrden, in allen anderen Monaten mit Ausnahme von Lentföhrden im August dagegen mehr. Im allgemeinen verläuft die Niederschlagskurve in Lilienhof ausgeglichener als in den anderen Standorten.

In Tab. 2 sind ferner die Niederschlags- und Temperaturwerte des langjährigen Mittels und des Mittels der Jahre 1952 - 66 wiedergegeben. Gleichzeitig ist der aus dem Quotienten Niederschlag/Temperatur berechnete Regenfaktor (RF) nach LANG (1920) genannt. Mit Hilfe des Regenfaktors ist in gewissen Grenzen der relative Unterschied in der Durchfeuchtung des Bodens ablesbar, weil je nach der Höhe der Temperatur und der sich daraus ergebenden Verdunstung mehr oder weniger Niederschlagswasser im Boden verbleibt bzw. dort versickert. Für die Berechnung der Regenfaktoren wurden die Temperaturwerte unter 0°C nicht berücksichtigt (korrigierter R-Faktor nach LANG, 1920). Da nur Monatsmittelwerte und keine Tageswerte zur Verfügung standen, wurden für die Berechnung nur die Monatsmittelwerte zugrundegelegt, was nach MEYER (1926) zu keinen nennenswerten Fehlern führt. Der RF erlaubt nur eine recht grobe Charakterisierung des Klimas bzw. der Durchfeuchtung. Andere Möglichkeiten (z.B. N/S-Quotient nach MEYER, 1926; Durchfeuchtungswert nach LAATSCH, 1937; Trockenheitsindex nach DE MARTONNE und REICHEL, 1950) konnten jedoch in Ermangelung der dazu notwendigen Daten nicht verwertet werden. Nach JENNY (1929) hatte jedoch bei Vergleichen von Boden- und Klimazonen in Amerika und Europa der RF verhältnismässig gut z.B. mit dem N/S-Quotienten übereingestimmt.

Wie bereits erwähnt, lagen von Lilienhof selbst für den Zeitraum ab 1952 keine Werte vor. Daher wurden die Daten der benachbarten Wetterstation Oberrotweil eingesetzt. Von Oberrotweil waren aber Mittelwerte von 1870 - 1950 und ab 1952 vorhanden. Ein Vergleich dieser

Tab. 2

Klimadaten der Standorte

Summe der Jahresniederschläge, mittlere Jahrestemperatur
und Regenfaktoren

Standorte	langjähriges Mittel			Mittel von 1952-66		
	mm	°C	RF	mm	°C	RF
Lentföhrden	758	7,8	97 (1945-1966)	755	7,7	98
Völkenrode	676	8,7	77 (1891-1930)	661	8,6	77
Erndtebrück	1157	-	- (1891-1930)	1213	6,0	185
Lilienhof	787	9,5	83 (1870-1950)	728 ⁺	9,4 ⁺	77 ⁺

Oberrotweil	701	9,9	71 (1870-1950)	649	9,8	66

⁺) berechnete Werte, Erklärung im Text.

beiden Perioden (Tab.3) zeigt, dass der Zeitraum ab 1952 ein wenig trockener und kühler war als der von 1870 - 1950. Da angenommen werden kann, dass ein ähnlicher Unterschied auch in Lilienhof aufgetreten ist, wurden die langjährigen Mittelwerte von Lilienhof auf die in Oberrotweil aufgetretenen Abweichungen verhältnismäßig umgerechnet. Dadurch sinken alle Werte gegenüber der Periode 1870 - 1950 etwas ab. Der RF ist jetzt ebenso gross wie in Völkenrode, während er nach dem langjährigen Mittel etwas höher lag. Nimmt man den RF als Maßstab, dann weist Erndtebrück absolut die stärkste Durchfeuchtung auf, erst in weitem Abstand folgt Lentföhrden. Völkenrode und Lilienhof zeigen den geringsten RF und unterscheiden sich untereinander praktisch nicht, obwohl in Lilienhof höhere Niederschläge fallen. Aber dieser Standort ist wärmer. Beide sind trockener als Lentföhrden. Weitere in Tab. 3 wiedergegebene Kriterien runden das Bild ab.

Tab. 3

Klimadaten der Standorte

Einige charakteristische Werte nach vergleichbaren Wetterstationen⁺⁾

vergleichbare Stationen:	Neumünster	Braunschweig	Altastenberg ++)	Oberrotweil
Standorte:	Lentförden	Völkenrode	Erndtebrück	Lilienhof
Frosttage	89,2 (1881-1930)	78,2 (1881-1930)	139,7 (1887-1930)	73,2 (1907-30)
Eistage	21,8 (1881-1930)	22,0 (1881-1930)	52,7 (1887-1930)	14,7 (1907-30)
frostfreie Tage	176 (1881-95)	189 (1881-1930)	154 (1887-1930)	197 (1907-30)
trübe Tage	148,2 (1901-30)	131,2 (1881-1930)	204,2 (1887-1930)	128,6 (1907-30)
heitere Tage	37,6 (1901-30)	46,9 (1881-1930)	27,4 (1887-1930)	48,0 (1907-30)

^{+) aus "Klimakunde des Deutschen Reiches", Bd. II, Berlin 1939}

^{++) Altastenberg ist mit Erndtebrück nur bedingt vergleichbar, da dieser Ort 288 m höher liegt als Erndtebrück}

Danach kann angenommen werden, dass Erndtebrück die meisten Eis- und Frosttage und die wenigsten heiteren Tage hat.

Schon wesentlich geringer ist die Zahl der Tage unter 0° C und höher die Zahl der heiteren Tage in Lentförden. Die wenigsten Frost- bzw. Eistage und die meisten heiteren Tage sind in Lilienhof und Völkenrode zu verzeichnen, wobei sich Lilienhof von Völkenrode vor allem in einer noch etwas geringeren Zahl der kalten Tage unterscheidet. Nach allen bisherigen Unterlagen ist also das Klima in Lentförden durch maritim-humide Verhältnisse charakterisiert. Völkenrode zeigt schon eine etwas schwächere humide Grundtendenz. Innerhalb der nord-deutschen Tiefebene liegt dieser Ort in einer ziemlich eng begrenzten milden Lage. Erndtebrück dagegen ist durch ein typisches Mittelgebirgsklima mit hoher Feuchtigkeit und geringen Temperaturen, Lilienhof durch eine relativ feuchte, aber sehr warme Lage (Weinklima) gekennzeichnet. Die Klimate der Standorte lassen sich demnach in folgender Weise formelhaft charakterisieren:

	Verhältnis der Tage		
	heiter	trüb	Frost
Lentföhrden (s) = feucht, mässig mild	1	1	1
Völkenrode (n) = mässig feucht, mild	1,25	0,89	0,88
Erndtebrück (w) = nass-kühl	0,73	1,38	1,57
Lilienhof (b) = mässig feucht, warm	1,28	0,87	0,82

Wir haben es also bei den vier Standorten mit jeweils zwei ähnlich gelagerten Klimatypen zu tun (Lentföhrden-Erndtebrück und Völkenrode-Lilienhof), wobei allerdings jeweils noch graduelle Unterschiede bestehen, die zwischen Lentföhrden und Erndtebrück am stärksten sind.

Nun ist jedoch zu berücksichtigen, dass das Makroklima durch besondere mikroklimatische Verhältnisse unter Umständen abgeschwächt oder noch verstärkt werden kann. Daher ist es notwendig, auch noch die besondere Lage eines jeden Versuchsplatzes kurz zu beschreiben.

Die Parzellen in Lentföhrden liegen am Rande eines durch Waldbestände geschützten Gebietes und in unmittelbarer Nähe einer Wiese, die Taubildung begünstigt. Von SSW her wird durch einen nahen Waldstreifen zeitweise Schatten auf die Parzellen geworfen. Der Grundwasserspiegel steht nur ca. 1,8 m unter Flur, und häufig kommt es durch einen nahen Vorfluter zum Rückstau (schriftliche Mitteilung von FINGER, Kiel). Insgesamt werden also hier die Wirkungen der ohnehin relativ feuchten Klimlage durch die mikroklimatischen Gegebenheiten noch verstärkt.

Demgegenüber liegt der Völkenroder Versuch nach allen Seiten offen. Nur in Richtung Süden steht eine ca. 70 m weit entfernte dünne Baumkulisse, die aber keinen direkten Einfluss auf die Parzellen auszuüben vermag. Der Grundwasserspiegel steht 8 - 10 m tief und mit Stauwasser ist nicht zu rechnen (schriftliche Mitteilung von TIETJEN, Völkenrode), so dass Völkenrode nicht nur wegen der geringeren Niederschläge und der höheren Temperaturen, sondern auch von der örtlichen Lage her gesehen trockener als Lentföhrden ist.

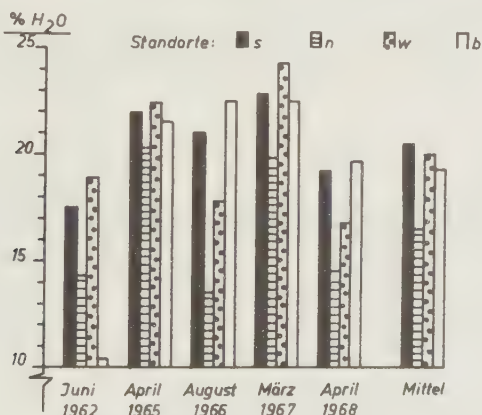
In Erndtebrück liegen die Parzellen auf einer schwach geneigten Anhöhe und nach allen Seiten vor Wind ungeschützt. Grundwasser hat hier wegen der örtlichen Gegebenheiten (Handsuttverwitterung) keinen Einfluss, und die Wasserführung auch der tieferen Schichten ist gut. Diese im Vergleich zu Lentföhrden fast gegensätzlichen Bedingungen vermögen wahrscheinlich die verhältnismässig hohen Niederschläge in einem gewissen Umfange zu kompensieren, vor allem was stauende Nässe anbetrifft.

Die Anlage in Lilienhof ist durch eine im weiteren Umkreis hängige und z.T. bewaldete Lage im allgemeinen vor Wind geschützt. Am Spätnachmittag liegt der Versuch je nach Sonnenstand zeitweilig im Schatten. Bergdruckwasser und Zuflusswasser sind nicht auszuschliessen. Grundwasser spielt zwar keine Rolle, aber der Untergrund ist wegen seines hohen Schluffanteils weniger durchlässig als beispielsweise in Erndtebrück. Diese örtlichen Bedingungen verzögern möglicherweise eine rasche Austrocknung der Böden trotz der warmen Lage dieses Standortes.

Diese Hinweise lassen erkennen, dass die besondere Lage eines jeden Versuchsplatzes spezifische Bedingungen enthält, die unter Umständen die vorherrschenden Tendenzen des Grossklimas bezüglich der Bodenfeuchtigkeit, die im Zusammenhang dieser Untersuchungen eine zentrale Rolle spielt, abzuschwächen bzw. zu verstärken in der Lage sind. Diese Grundtendenzen werden in gewisser Weise auch durch den Wassergehalt der Böden, wie er zur Zeit der Probenahme bestand, bestätigt (Abb. 5).

Abb. 5

Wassergehalt im Mittel von vier Böden je Standort



Bis auf 1962 stand Völkenrode (n) stets an letzter und Lilienhof (b) stand in zwei Jahren (1966/68) sogar an erster Stelle. Im Mittel ergab sich dann die folgende Abstufung: $s > w > b > n$. Mit dem Durchschnittsergebnis einer Probe pro Jahr soll jedoch kein Beweis, sondern nur ein weiterer Hinweis auf die wahrscheinlichen wirklichen Feuchtigkeitsverhältnisse gegeben werden. Hierzu sei als Bestätigung nochmals hervorgehoben, dass sich Lilienhof im Sommerhalbjahr feuchter als Völkenrode und im Frühjahr und Herbst zeitweilig sogar feuchter als Lentföhrden erwies, während Erndtebrück im Gegensatz zu den anderen Standorten die höchsten Niederschläge nicht im Sommer, sondern zu Anfang des Winters zeigte.

D. Eigenschaften der Standortböden

In dem folgenden Abschnitt werden zunächst die Eigenschaften der gewachsenen Originalstandortböden dargelegt. Um aber eine Doppelschreibung der Zahlen zu vermeiden, sind in den Tabellen gleichzeitig die Werte der umgelagerten Standortböden genannt. Die Auswertung des Umlagerungseffektes erfolgt jedoch erst in Abschnitt H. Vorangestellt wird eine Beschreibung der Profile, zu denen sich Angaben in den Versuchsunterlagen befanden. Boden "Lentföhrden" wurde von LSCHENHAGEN, STREME und FINGER, Boden "VÖLKENRODE" von TIETJEN, Boden "Erndtebrück" von SPANNAGEL und Boden "Lilienhof" von WACKERL beschrieben.

1. Profilbeschreibung

Boden Lentföhrden

Bodenart: Stark humoser Sandboden, schwarzgrau bis bleigrau.

Bodentyp: Trockener Heidepodsol auf Geschiebe mit Orterde in 25 - 40 cm Tiefe, nach STREME und ESCHENHAGEN auch als "verheideter rostfarbener Waldboden" bezeichnet.

Profil: Ap 1/2 0-27 cm, deutlich gebleicht;

Bhs (S) 27-40 cm, kaffeebraun;

Bs (S) 40-58 cm, gelbbraun.

Bemerkung: Grundwasser ca. 1,8 m unter Flur.

Boden Völkenrode

Bodenart: Humoser sandiger Lehm.

Bodentyp: Gebleichte, schwach pseudovergleyte Parabraunerde aus diluvialen fluviatilen Sedimenten.

Profil: Ap 0 - 20 cm, graubrauner, humoser sandiger Lehm;
A₃21 - 30 cm, graubrauner lehmiger Sand;
gB30 - 54 cm, hellbrauner lehmiger Sand mit Bleichstellen;
C 54 -100 cm, rotbrauner, grobkörniger Sand mit verhärteten Bändern.

Bemerkung: Grundwasser ca. 8 - 12 m unter Flur.

Boden Erndtebrück

Bodenart: Sandiger Lehm bis lehmiger Sand mit eingemischten Gesteinsbröckeln.

Bodentyp: Rankerbraunerde auf Hangschuttverwitterung von Grauwacke und etwas Schiefer.

Profil: Ap 0 - 22 cm, sandiger humoser Lehm bis lehmiger Sand mit Gesteinsbröckeln;
(B) 22 - 60 cm, Braunerde von ocker- bis umbrabrauner gleichmässiger Farbtönung; ab 60 cm starke Zunahme der Gesteine, die bald in reine Schotterlagen übergehen.

Bemerkung: Sehr gute Wasserführung.

Boden Lilienhof

Bodenart: Feinsandiger schluffiger Lehm.

Bodentyp: Pararendzina aus Löss mit kolluvial angehäuften, durch Rigolen (ehemaliger Weinberg) und Regenwurmtätigkeit vertieftem A-Horizont, auf viele m mächtigem, stark kalkhaltigem Löss.

Profil: A₁₁ = A_p 0 - 20 cm, dunkelgrauer, sehr schwach humoser, stark feinsandiger Lehm;
A₁₂ 20 - 60/70 cm, hellgrauer, sehr schwach humoser, stark feinsandiger Lehm, mässig dicht;
C 60/70 - 120 cm, hellgrauer, stark feinsandiger Lehm bis lehmiger Feinsand, heller Löss mit einzelnen Wurmgingen und Wurzelbahnen, unscharfer Übergang vom A- zum C-Horizont.

Bemerkung: Grundwasserfrei.

2. Physikalische und chemische Merkmale (Tab. 4-9)

In Tab. 4 werden zunächst Ergebnisse physikalischer und chemischer Untersuchungen an allen drei Schichten wiedergegeben, die an den aufbewahrten Proben aus der Zeit der Anlage des Versuches (1952) erzielt wurden. Sie geben einen Überblick über die Grundzusammensetzung der Böden, da bei den später entnommenen Proben Korngrößen, N-Gehalt und Carbonat-Gehalt (letzteres mit Ausnahme der Pararendzina) bei den Unterbodenschichten nicht mehr berücksichtigt wurden. Dazu ist zu bemerken, dass der geringe Carbonat-Gehalt des Heidepodsol, der Parabraunerde und der Rankerbraunerde wohl vorwiegend aus früheren Düngungen stammt, da später keine Carbonate mehr nachgewiesen werden konnten. Die in den Jahren 1962 - 68 erzielten Ergebnisse werden später aber nach Ober- und Unterboden getrennt aufgeführt (Tab. 5 - 9), weil der Unterboden auf eine geringere Zahl von Merkmalen und nur im Jahre 1968 untersucht wurde, und diese Werte nur mit den Ergebnissen der Krume desselben Zeitpunktes vergleichbar sind.

Die vier Böden zeigen grosse Unterschiede. Die höchste Menge an Ton enthält Rankerbraunerde (W), die geringste Heidepodsol (S). Im Gehalt an Grobsand steht demgegenüber Heidepodsol an erster und Pararendzina (B) an letzter Stelle, im Gehalt an Schluff ist es umgekehrt. Parabraunerde (N) gleicht im Gehalt an Ton und Feinsand der Pararendzina, unterscheidet sich aber von dieser durch einen geringeren Anteil an Schluff und einem Vielfachen an Grobsand.

Heidepodsol und Rankerbraunerde sind als mässig sauer, Parabraunerde als schwach sauer und Pararendzina als schwach alkalisch zu bezeichnen. Ausser bei der Pararendzina nahm der pH-Wert nach der Tiefe zu ab. Eine ähnliche Rangfolge wie die pH-Werte nahmen die Werte der hydrolytischen Acidität ein, die aber wesentlich stärkere Ausschläge zeigten. Das war auch bei den umgelagerten und verlagerten Böden der Fall. Daher wurden diese Ergebnisse mit verwertet, obgleich die Hy in der Bodenwissenschaft heute nicht mehr die Rolle spielt (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1966). Pararendzina zeigte in allen drei Schichttiefen zwischen 33 - 37 % Carbonate.

Im Gehalt an DL Phosphor stand Parabraunerde an erster Stelle. Danach folgte Heidepodsol, während Rankerbraunerde und Pararendzina in etwa gleicher Höhe die geringste Menge aufwiesen. Ein nahezu umgekehrtes Bild zeigten die Böden aber hinsichtlich des DL Kaliums:

Tab. 4

Physikalische und chemische Merkmale der Standortböden (Ausgangsmaterial 1952)

Standort	Bodentyp	Tiefe cm	Ton ≤0,002- 0,06	Schluff 0,002- 0,06	%		pH 0,1 N KCl	CaCO ₃ %	C _t %	N _t %	C/N
					Fein- sand 0,06- 0,2	Grob- sand 0,2- 2,0 mm					
Lent- förden (s)	Heide- podsol (S)	0-20	3,7	23,2	17,3	55,8	5,25	0,28	5,21	0,223	23,4
		20-40	7,6	19,3	23,6	49,5	4,60	0,21	1,30	0,053	24,5
		40-60	6,2	20,9	19,2	53,7	4,42	0,09	0,54	0,025	21,6
Völken- rode (n)	Parabraun- erde (N)	0-20	7,1	45,2	15,9	31,8	6,87	0,41	1,33	0,108	12,3
		20-40	7,1	54,9	12,6	25,4	6,62	0,12	0,68	0,053	12,8
		40-60	6,2	37,7	13,1	43,0	6,15	0,02	0,26	0,021	12,4
Erndte- brück (w)	Ranker- braunerde (W)	0-20	17,0	64,4	8,0	10,6	5,40	0,10	3,35	0,286	11,7
		20-40	21,2	63,3	6,1	9,4	4,90	0,02	1,05	0,118	8,9
		40-60	18,9	54,1	7,2	19,8	4,55	0,02	0,64	0,078	8,2
Lilienhof (b)	Pararend- zina (B)	0-20	7,5	72,3	18,5	1,7	7,52	34,5	1,05	0,103	10,2
		20-40	8,2	75,9	14,2	1,7	7,45	33,7	1,21	0,119	10,2
		40-60	6,4	74,9	17,5	1,2	7,90	34,7	0,81	0,072	11,2

Physikalische und chemische Merkmale der Standortböden (0-20 cm Tiefe)
1962 - 68

o. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
max. WK(g H ₂ O/100 g) (1966)	42,7 46,5	39,9 40,3	31,4 32,8	31,8 32,8	51,0 50,4	51,3 49,6	43,1 44,0	43,8 44,5
% Ton (<0,002 mm) 1968	4,6 4,3	3,8 4,5	7,6 7,6	7,2 7,2	22,4 21,9	22,3 22,1	10,8 10,7	10,6 11,0
% Schluff (0,002 - 0,06 mm)	18,2 20,8	20,9 19,5	48,2 49,6	49,3 47,4	56,2 56,7	55,7 56,3	74,1 75,4	74,5 75,1
% Feinsand (0,06-0,2 mm)	16,4 19,1	19,6 19,1	14,9 14,6	14,6 14,3	9,8 9,3	10,1 10,1	12,6 11,9	13,2 12,4
% Grobsand (0,2-2,0 mm)	60,8 55,8	55,7 56,9	29,3 28,2	28,9 31,1	11,6 12,1	11,9 11,5	2,5 2,0	1,7 1,5
% CaCO ₃ (1966)	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	0 0	35,2 37,2	36,8 34,5
pH /0,1 N KCl (1962/65-68)	5,80 5,75	5,43 5,39	6,49 6,37	5,79 5,88	5,91 5,56	6,50 5,97	7,76 7,84	7,81 7,92
Hydrol.Acidität/100 g (1966/68)	73,6 62,6	78,6 80,3	11,2 13,8	18,8 20,0	35,4 49,6	19,5 35,1	3,6 4,1	3,5 3,9
DL P in mg/100 g (1966/68)	9,30 10,25	9,60 9,85	15,75 14,80	12,30 12,45	4,90 4,00	5,75 5,35	4,95 4,35	6,55 4,75
DL K in mg/100 g (1966/68)	5,45 5,75	5,80 9,70	9,70 10,20	8,20 10,95	17,65 14,90	19,30 17,25	15,75 15,70	16,60 16,75

S, N, W, B = nicht umgelagert

Ss, Nn, Ww, Bb = am Standort umgelagert

Tab. 6

Chemische Merkmale der Standortböden (0-20 cm Tiefe)
1962 - 68O. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
AK (mval/100 g) (1965/68)	19,8 20,3	18,2 18,2	7,3 7,4	6,9 7,3	14,0 13,5	15,3 13,6	11,8 11,0	10,8 10,1
H-Wert(") (1965/68)	4,6 5,5	4,7 6,2	2,2 2,6	3,5 3,3	4,2 6,3	3,2 5,5	0,8 0,5	0,5 0,5
V-Wert (g) (1965/68)	76,8 72,9	74,2 65,9	69,9 64,9	49,3 54,8	70,0 53,3	79,1 59,6	93,2 95,5	95,4 95,0
% C (1962/65/66/68)	5,999 6,473	6,037 6,263	1,006 1,090	1,077 1,174	2,615 2,602	2,666 2,652	1,129 1,110	1,033 1,015
% N (1962/66/68)	0,250 0,265	0,262 0,264	0,082 0,090	0,082 0,089	0,251 0,250	0,242 0,254	0,107 0,110	0,095 0,095
C/N (1962/66/68)	24,0 24,4	23,0 23,7	12,3 12,1	13,1 13,2	10,4 10,4	11,0 10,4	10,6 10,1	10,9 10,7
% Huminsäuren (1968)	39,5 39,3	40,7 39,4	14,6 16,8	15,8 18,2	14,5 17,5	15,1 18,7	14,5 15,9	14,4 16,0
% Fulvosäuren (1968)	15,7 17,9	15,4 13,4	17,5 18,9	18,0 18,5	23,4 29,5	21,3 23,6	21,2 19,7	21,8 21,7
% unlösl. Rückstand (1968)	44,8 42,8	43,9 47,2	67,9 64,3	66,2 63,3	62,1 53,0	63,6 57,7	64,3 64,4	63,8 62,3

Tab. 7

Chemische Merkmale der Ober- und Unterbodenschichten (1968)

o. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol	Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina		
		S	Ss	N	Nn	W	Ww	B
pH/0,1 N KCl O-20 cm 20-40 " 40-60 " m.	5,88	5,80	6,18	5,50	5,90	6,35	7,68	7,73
	5,95	5,50	6,13	5,60	5,55	6,00	7,75	7,75
	5,95	5,60	6,90	6,45	6,73	6,38	7,13	7,40
	5,68	5,45	7,00	6,83	5,73	5,78	7,48	7,60
AK-Wert (mval/100 g) O-20 cm 20-40 " 40-60 " m.	5,30	5,35	7,10	6,65	5,78	5,95	7,88	8,00
	5,45	5,40	7,10	7,10	5,10	4,85	7,68	7,75
	20,3	19,9	7,5	7,1	13,7	14,8	11,9	10,9
	21,4	19,8	7,7	7,7	14,5	15,0	11,1	10,7
H-Wert (mval/100 g) O-20 cm 20-40 " 40-60 " m.	21,4	19,1	6,8	6,2	11,4	10,9	12,2	12,7
	19,8	19,6	6,2	7,1	11,2	10,7	12,0	13,5
	12,0	15,1	5,5	5,3	5,4	7,1	10,3	9,7
	12,3	18,6	5,0	5,2	8,0	8,7	11,1	10,4
H-Wert (mval/100 g) O-20 cm 20-40 " 40-60 " m.	7,3	6,9	4,1	5,8	6,4	5,1	1,5	0,9
	7,2	7,6	5,0	5,6	8,2	7,0	0,8	0,9
	6,5	6,9	4,8	4,9	3,5	4,1	2,7	2,3
	7,8	7,6	3,8	4,0	6,6	5,3	2,8	2,1
H-Wert (mval/100 g) O-20 cm 20-40 " 40-60 " m.	4,9	6,2	3,2	3,6	3,4	3,3	0,6	0,3
	5,7	7,4	1,3	1,8	5,9	5,7	0,9	0,8

Chemische Merkmale der Ober- und Unterbodenschichten (1968)

O. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	in	W	Ww	B	BL
austauschb. K (mval/100 g)								
O-20 cm	O,154 O,159	O,174 O,282	O,307 O,348	0,287 0,393	0,502 0,510	0,599 0,570	0,414 0,424	0,449 0,439
20-40 "	O,082 O,123	0,032 0,169	0,141 0,145	0,131 0,215	0,291 0,305	0,321 0,320	0,363 0,364	0,453 0,339
40-60 "	O,061 O,086	0,061 0,123	0,101 0,055	0,075 0,050	0,096 0,125	0,066 0,095	0,360 0,333	0,384 0,267
austauschb. Na (mval/100 g)								
O-20 cm	O,063 O,057	0,054 0,049	0,014 0,005	0,008 0,006	0,067 0,060	0,028 0,035	0,004 0	0 0
20-40 "	O,055 O,056	0,053 0,053	0,035 0,012	0,029 0,007	0,049 0,074	0,060 0,038	0,005 0,002	0,001 0,017
40-60 "	O,037 O,026	0,033 0,044	0,022 0,007	0,019 0,014	0,047 0,050	0,070 0,047	0,028 0,006	0,007 0,020
austauschb. Ca + Mg (mval/100 g)								
O-20 cm	14,9 21,0	14,9 15,3	6,2 5,9	5,6 5,0	10,8 8,5	13,6 10,7	10,0 9,9	9,6 9,6
20-40 "	17,5 14,0	13,6 15,0	5,7 5,6	4,9 4,6	9,7 6,4	8,9 7,9	9,1 8,6	10,0 11,0
40-60 "	7,3 8,6	8,6 12,7	4,5 3,8	4,0 4,7	3,9 5,5	7,3 3,6	9,3 10,1	9,0 9,7

Tab. 9

Chemische Merkmale der Ober- und Unterbodenschichten (1968)

o. = ohne Stallung
m. = mit

m. = mit "		Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
		S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
V-Wert % O-20 cm 20-40 " 40-60 "	O.	64,0	65,3	45,3	18,3	53,3	65,5	87,4	91,7
	m.	66,4	61,6	35,1	27,3	43,4	53,3	92,8	91,6
	O.	69,6	63,9	29,4	21,0	69,3	62,4	77,9	81,9
	m.	60,6	61,2	38,7	43,7	41,1	50,5	76,7	84,4
Hydr.-Acidität/100 g O-20 cm 20-40 " 40-60 "	O.	59,2	58,9	41,8	32,1	37,0	53,5	94,2	96,9
	m.	53,7	60,2	74,0	65,4	26,3	34,5	91,9	92,4
	O.	82,6	83,3	13,2	21,2	43,3	22,7	5,0	4,9
	m.	67,4	86,7	17,2	22,7	52,1	41,1	5,5	5,3
C _t % O-20 cm 20-40 " 40-60 "	O.	84,4	94,3	10,6	15,9	22,2	19,5	4,5	4,5
	m.	81,6	86,4	12,8	18,1	41,7	32,0	4,9	4,9
	O.	82,4	85,9	7,6	9,3	23,2	21,0	3,8	4,2
	m.	69,7	87,6	9,8	9,1	26,1	35,6	4,2	4,5
C _t % O-20 cm 20-40 " 40-60 "	O.	5,419	5,834	0,848	0,963	2,894	2,983	1,133	1,017
	m.	5,547	6,187	0,893	1,023	2,924	2,919	1,064	1,086
	O.	4,910	5,573	0,621	0,805	1,919	1,958	0,963	0,974
	m.	5,088	5,733	0,630	0,781	1,792	1,849	0,933	0,835
40-60 "	O.	2,454	4,222	0,207	0,304	0,589	0,945	0,867	0,818
	m.	2,838	4,919	0,244	0,274	0,885	0,840	0,832	0,780

Rankerbraunerde > Pararendzina > Parabraunerde > Heidepodsol. Die Versorgung mit löslichem P ist im wesentlichen eine Funktion der Menge und Qualität der organischen Substanz sowie des Entwicklungszustandes der Böden. Die im Verhältnis knappe P-Versorgung in Rankerbraunerde ist daher wohl trotz relativ hohen C-Gehaltes eine Folge seiner späten und schwächeren Entwicklung. Die bei gleichem C-Gehalt wesentlich geringere P-Versorgung in der Pararendzina gegenüber der Parabraunerde ist dagegen vermutlich ein Ergebnis der stärkeren P-Festlegung durch den hohen Gehalt dieses Bodens an Carbonaten. Die K-Versorgung ist andererseits eine Funktion des Feinerdeanteils, die bei diesen vier Böden deutlich hervortritt. Die AK der Krume zeigte die folgende Rangfolge: Heidepodsol(S) > Rankerbraunerde(W) > Pararendzina(B) > Parabraunerde(N). In der mittleren und erst recht der unteren Schicht stand dann aber B vor W. Diese Veränderungen ergaben sich vermutlich durch den C-Gehalt, der in B mit steigender Tiefe schwach, in N und W aber stark abfiel. S nahm eine Mittelstellung ein. In der Krume hatten sich die folgenden Reihenfolgen ergeben:

$$C_t = S > W > N > B;$$

$$N_t = W > S > N > B$$

Boden S zeigte das weiteste C/N-Verhältnis (21,6 - 24,5). Dann folgten die Böden N (12,3 - 12,8), W (8,2 - 11,7) und B (10,2 - 11,2), wobei das Verhältnis bei S und W nach der Tiefe zu etwas enger, bei N und B aber geringfügig weiter wurde.

Von besonderer Überraschung war, dass Heidepodsol den höchsten Gehalt an Huminsäuren und den geringsten Gehalt an Rückstand aufwies. Der höchste Gehalt an Fulvosäuren lag dagegen eindeutig in der Rankerbraunerde und der Pararendzina. Da diese Frage nochmals von besonderem Interesse bei den verlagerten Böden sein wird, soll hier nicht noch näher auf diese Problematik eingegangen werden.

Die zweiwertigen Kationen Ca + Mg zeigten in allen drei Schichten eine ähnliche Tendenz wie die AK. Hierzu ist zu erwähnen, dass die AK im Heidepodsol im Verhältnis wohl zu niedrig ausgefallen ist, weil nach der Methode von HOFFMANN (FIEDLER 1965) bei pH 7,0 ausgetauscht wurde, die bei C-reichen Böden meist zu geringe Werte ergibt.

Austauschbares Kalium zeigte in der Krume im wesentlichen die gleichen Unterschiede zwischen den Bodenarten wie das lactatlösliche. Nach der Tiefe zu nahm es in allen Böden ab, am stärksten aber in N und W, am geringsten in B. An Natrium wurden die höchsten

Mengen im Heidepodsol und in der Rankerbraunerde gefunden. Parabraunerde enthielt wesentlich geringere Mengen und Pararendzina enthielt nur noch Spuren. Entgegen dem K nahm Na nach der Tiefe einheitlich nur im Heidepodsol ab. Bei den übrigen Bodenarten zeigten die unteren Schichten höhere Werte als die Krumen, wobei die Unterschiede nach Süden zu grösser wurden. Hier zeigte sich schon bei den Standorten eine Tendenz, die dann bei den verlagerten Böden noch deutlicher hervortrat. Auf die wahrscheinliche Ursache wird daher später (II. Teil) näher eingegangen. Hier sei nur schon soviel erwähnt, dass für den relativen Anstieg des Na in den unteren Bodenschichten der südlicher liegenden Böden einerseits natürlich Auswaschung, andererseits eine Verarmung der Krume an Na wahrscheinlich durch das Ausbleiben von Na-Aerosolen nordwestlicher Seewinde verantwortlich zu machen sind.

Heidepodsol zeigte also die stärkste Versauerung und Degradierung. Sein weites C/N-Verhältnis deutet auf eine schwache biologische Aktivität hin. Genetisch gesehen steht dieser Boden auf einer absteigenden Entwicklungslinie. Das genetische Gegenstück stellt die Rankerbraunerde dar. Dieser Boden zeigte den zweitstärksten Säuregrad, aber aufgrund anderer Gegebenheiten des Ausgangsmaterials (Hangschutt) und des Klimas (kälter und feuchter als in Lentföhrden) ist er stärkeren Erosionserscheinungen ausgesetzt und somit noch unterentwickelt. Parabraunerde ist weit weniger degradiert als Heidepodsol, aber wie Rankerbraunerde ist dieser Boden von geringerer Tiefgründigkeit als Heidepodsol und erst recht Pararendzina. Bei der Pararendzina handelt es sich um einen gut entwickelten tiefgründigen Boden, der durch seinen hohen Gehalt an Carbonaten noch mit Basen abgesättigt ist. Das enge C/N-Verhältnis weist auf eine hohe biologische Aktivität hin.

3. Mikrobiologische Merkmale

Die mikrobiologischen Merkmale werden nach Ober- und Unterbodenschichten getrennt dargelegt. Dabei werden die Stalldungteilstücke bei der Charakterisierung der Bodenarten zunächst ausgeklammert, weil durch die Düngung offensichtlich einige von der Bodenart bzw. dem Standort abhängige spezifische Wirkungen aufgetreten sind.

a. Mikrobiologische Merkmale der Oberböden (Tab.10 und 11)

Die stärksten Unterschiede zwischen den Bodentypen traten bei der Keimzahl von Azotobacter auf. Heidepodsol enthielt ihn nur sporadisch. Wesentlich höher war sein Gehalt in den übrigen Böden. Die Zellzahl erreichte in Rankerbraunerde nahezu 1000/g, in Parabraunerde nahezu 3000/g und in Pararendzina sogar 8000/g. Die Zunahme der Keimzahl ist aus den in gleicher Reihenfolge steigenden pH-Werten erklärbar, da Azotobacter bekanntlich zu den neutrophilen bis basophilen Organismen gehört.

Wesentlich schwächere Unterschiede zeigten die Bakterien-Keimzahlen. Aber auch hier stand Pararendzina an erster Stelle, das gleiche gilt für Cellulosezersetzer und Streptomycceten. Bei den Cellulosezsetzern stand an zweiter Stelle Parabraunerde, bei den Streptomycceten aber Rankerbraunerde (Heidepodsol jeweils an letzter).

Die Pilz-Keimzahlen lagen demgegenüber nicht am höchsten in Pararendzina, sondern in Rankerbraunerde und Parabraunerde. Dieser Befund stimmt ebenfalls mit allgemeinen Erfahrungen überein, denn Pilze treten in alkalischen Böden meistens zurück (STEINBRENNER 1963).

Die Atmungsaktivität war am stärksten in Rankerbraunerde, dann folgten in abnehmender Reihe Heidepodsol, Pararendzina und Parabraunerde. In der Dehydrogenaseaktivität lagen Rankerbraunerde und Pararendzina in etwa gleicher Höhe weit vorn, während Heidepodsol die niedrigsten Werte ergab. Atmungsaktivität und Dehydrogenaseaktivität zeigten also bei diesen vier Böden keine gute Übereinstimmung, obwohl beide Vorgänge unspezifische Gesamtumsetzungen widerspiegeln. Hierbei ist jedoch zu bedenken, dass für die TTC-Reduktion (DHA) nicht nur Dehydrogenasen des Atmungsstoffwechsels, sondern auch solche des Eiweiss-Stoffwechsels und weiterer intramolekularer Prozesse in Frage kommen. Ferner wird mit der TTC-Reduktion z.T. auch der Energiestoffwechsel der anaeroben Flora erfasst

Tab. 10

Mikrobiologische Merkmale der Standortböden (0-20 cm)

O. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nh	W	Ww	B	Bb
Azotobacter/g (1962/65-68)	32 13	O O	1141 2936	270 27	978 434	1987 563	6432 8161	5865 5417
Bakterien (Mill./g) (1962/65/66/68)	18,65 13,25	11,71 12,93	17,54 20,11	15,78 14,05	23,78 17,87	36,43 23,74	32,58 36,41	41,88 37,83
Cellulosezersetzter (Tsd./g) (1965/66/68)	15,00 94,09	6,79 11,07	117,52 82,76	15,70 6,94	42,50 34,90	76,44 35,84	237,70 97,47	123,63 119,34
Pilze (Mill./g) (1962/65/66/68)	O,046 O,041	O,045 O,143	O,181 O,182	O,151 O,168	O,193 O,181	O,151 O,197	O,107 O,095	O,110 O,093
Streptomyceten (Mill./g) (1965/66/68)	O,680 1,120	1,237 1,197	O,782 1,000	1,270 1,342	1,212 1,365	1,737 1,237	2,117 2,650	1,237 1,465
CO ₂ (mg/100 g/7 Tg.) (1962/65/66/68)	76,6 85,0	64,3 62,6	49,3 62,5	49,7 56,3	102,5 94,8	102,8 85,7	72,6 71,9	67,5 69,6
O ₂ (ml/100 g/7 Tg.) (1966/68)	43,2 50,8	44,5 41,7	27,1 29,2	27,2 28,0	63,1 63,0	67,2 63,3	56,8 56,7	49,5 49,1
Dehydrogenase-Akt. (TPF/10g/1 Tg.) (1962/65/66/68)	195 267	181 210	240 275	195 236	718 566	692 633	618 706	520 622

Tab. 11

Mikrobiologische Merkmale der Standortböden (0-20 cm)

o. = ohne Stallung
m. = mit

		Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
		S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
NH_4-N (mg/ 100 g) (1962/66)									
0 Tage Inkubation									
9 Tage	o.	12,15	14,08	5,77	8,80	10,52	14,43	5,94	5,38
	m.	14,77	20,85	7,55	9,68	12,76	10,62	5,91	6,66
27 " "	o.	16,74	19,14	9,02	11,73	35,89	17,13	2,32	2,71
	m.	18,46	25,81	10,47	10,71	26,68	24,74	1,75	1,60
27 " "	o.	0	0	1,74	0,71	12,43	0	0,32	0,28
	m.	0	4,62	0,68	0,63	11,50	9,36	1,80	1,75
NO_3-N (mg/ 100 g) (1962/66)									
0 Tage Inkubation									
9 " "	o.	1,52	1,70	2,50	1,18	5,73	4,28	1,30	1,25
	m.	1,91	2,50	1,85	1,39	4,54	4,64	1,80	1,45
27 " "	o.	1,94	1,91	2,03	1,45	6,81	6,20	4,73	3,97
	m.	2,59	3,05	2,14	1,62	5,47	5,18	4,80	4,30
27 " "	o.	8,29	8,78	5,21	5,30	10,19	12,22	7,27	7,68
	m.	11,14	10,04	5,87	5,16	9,78	9,97	7,85	7,13

(vgl. JAMBOR 1960, THALMANN 1967), während andererseits die CO_2 -Bildung nur den vollständig oxydierten Kohlenstoff, nicht aber den resynthetisierten (in Humus, Organismen, Stoffwechselprodukten) anzeigt. Es kann also von vornherein keine vollständige Übereinstimmung der Ergebnisse beider Methoden erwartet werden. Die Höhe der Atmungsaktivität ist sicherlich in enger Verbindung mit der Menge und der Qualität der Humusstoffe zu sehen, denn Rankerbraunerde enthält zwar nur den zweithöchsten Gehalt, übertrifft aber qualitativ den des sauren Heidepodsols. Die Dehydrogenaseaktivität ist andererseits offenbar noch stärker vom pH-Wert beeinflusst, denn die Pararendzina enthielt nur um 1 % C_t (gegenüber Rankerbraunerde mit 2,9 %), und dennoch war die Aktivität ähnlich so hoch wie in der Rankerbraunerde.

Die NH_4 -Gehalte lagen am niedrigsten in der Parabraunerde und der Pararendzina, am höchsten in der Rankerbraunerde und im Heidepodsol. Hohe NH_4 -Mengen korrelieren also mit dem höchsten Humusgehalt, den feuchtesten Standorten und den niedrigsten pH-Werten, womit ebenfalls eine Übereinstimmung zu allgemeinen Erfahrungen besteht. Die Böden mit dem höchsten NH_4 -Gehalt zeigten im Endeffekt (nach 27 Tagen Inkubation) zwar auch den höchsten NO_3 -Gehalt (wobei Rankerbraunerde wohl wegen des höheren pH-Wertes und der besseren Humusqualität noch vor Heidepodsol rangiert), aber in der Anfangsgeschwindigkeit der NO_3 -Bildung war Pararendzina den anderen Böden eindeutig überlegen. Diese Tatsache ist wiederum aus dem höheren pH-Wert dieses Bodens zu erklären, denn die Nitrifikanten werden durch eine neutrale bis schwach alkalische Reaktion besonders gefördert. Dass im Endeffekt der NO_3 -Gehalt niedriger lag als bei Heidepodsol und Rankerbraunerde, resultiert aus dem geringeren N-Gehalt dieses Bodens.

Je nach Merkmal standen also die Böden häufig in einer ganz verschiedenen Reihenfolge. Dabei ist bemerkenswert, dass bei den Keimzahlen meist Pararendzina, bei den Umsetzungen meist Rankerbraunerde an erster Stelle stand. Zwischen beiden Merkmalsgruppen bestand also eine gewisse Diskrepanz, die häufig beobachtet wird (vgl. STOTZKY und NORMAN 1961). Hierfür können verschiedene Gründe angeführt werden wie z.B. die selektierenden Eigenschaften der Nährmedien, Unterschiede in der Zahl der zymogenen und autochthonen sowie der aktiven und inaktiven Keime und wahrscheinlich auch Unterschiede im Humifizierungsgrad der organischen Bodensubstanz. Im allgemeinen aber entsprechen die Ergebnisse dem bekannten Verhalten spezifischer Gruppen und Arten von Mikroorganismen aufgrund ihrer Abhängigkeit von bestimmten Boden- und Umweltfaktoren,

das bereits in der zusammenfassenden Literatur (LÖHNIS 1926, WINOGRADSKY 1949, WAKSMAN 1952, MÜLLER 1965, GLATHE und GLATHE 1966, BECK 1968) als eine in der Bodenbiologie allgemein gültige Gesetzmässigkeit Eingang gefunden hat.

b. Mikrobiologische Merkmale der Unterbodenschichten (Tab.12 und 13)

Mit Ausnahme der mittleren Schicht des Heidepodcols und der Pararendzina, wo die Bakterienkeimzahl und die Dehydrogenaseaktivität meist höher lagen als in der obersten Schicht, nahmen die mikrobiellen Kenndaten ebenfalls von oben nach unten ab. Die Stärke der Abnahmen war bodenabhängig. Den raschesten Rückgang zur Tiefe hin zeigten in der Regel Parabraunerde und Rankerbraunerde. Bei diesen beiden Böden bestanden also deutliche Beziehungen zum C-Gehalt, der hier ebenfalls sehr schnell abnahm. Während Heidepodcol in der Krume meist an letzter Stelle stand, lag er in der mittleren und erst recht in der untersten Schicht nun meist vor Para- und Rankerbraunerde, insbesondere in der BKZ und der DHA. Auch in dieser Tatsache muss eine Beziehung zum C-Gehalt gesehen werden, der im Heidepodcol nur auf etwa 50 %, in den anderen beiden Böden aber auf etwa 25 % abfiel (Tab.9). Eine grundsätzliche Ausnahme bildet aber Azotobacter, der im Heidepodcol in allen drei Schichten nur sporadisch vorkam. Diese Tatsachen werfen ein besonderes Licht auf die Bedeutung des pH-Wertes und der Humusqualität für die einzelnen mikrobiologischen Komponenten:

BKZ, DHA und CO_2 -Bildung wurden durch einen geringeren pH-Wert und eine geringere Humusqualität weniger negativ beeinflusst als Azotobacter. Das wird durch den Vergleich mit der Pararendzina noch zusätzlich unterstrichen, denn im Gehalt an Azotobacter wies sie in allen drei Schichten einen z. T. 10- bis 100fach höheren, in den anderen Merkmalen aber häufig einen nur wenig höheren (in CO_2 gegenüber Heidepodcol und Rankerbraunerde) oder sogar niedrigeren Wert (in der DHA gegenüber Rankerbraunerde) auf als in den anderen Böden.

Aus den Ergebnissen sowohl der chemischen als auch der mikrobiologischen Untersuchungen lässt sich somit eindeutig folgern, dass Parabraunerde und Rankerbraunerde weniger tiefgründig entwickelt sind als Heidepodcol und erst recht Pararendzina. Diese Folgerung ergibt sich sowohl aus dem vertikalen (im Verhältnis der Unterböden zur Krume) als auch im horizontalen (im Verhältnis der Böden zueinander) Vergleich.

Tab. 12

Mikrobiologische Merkmale der Standortböden verschiedener Tiefen (1968)

o. = ohne Stallung
m. = mit

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bp
Azotobakter/g	O	O	1599	19	402	1195	9506	5994
	51	O	7394	15	324	345	6757	4529
	9	O	91	8	264	160	2094	5814
	O	O	23	31	128	85	4292	1867
40-60 "	4	O	3	O	4	4	554	4984
	O	O	3	3	12	O	1023	1045
Bakterien (Mill/g)	16,44	12,38	39,05	17,70	17,20	32,13	42,53	51,55
	15,62	22,05	27,40	18,17	11,92	18,68	36,07	46,13
	46,43	12,86	10,65	13,80	10,89	12,58	61,14	35,55
	36,29	24,83	18,42	15,44	5,80	4,56	36,73	36,52
40-60 "	8,23	5,49	1,98	2,58	1,79	1,69	16,32	11,59
	6,39	11,87	2,13	3,37	3,63	2,28	19,12	16,90
CO ₂ (mg/100 g/2 Tg.)	9,0	11,2	6,0	7,0	13,2	14,0	16,9	19,9
	12,3	9,9	7,3/	5,5	13,7	11,1	20,5	17,0
	10,4	8,5	3,6	3,5	14,0	13,0	11,1	13,0
	9,6	9,6	4,8	3,8	12,4	7,6	14,2	12,2
40-60 "	4,3	5,9	2,2	1,9	4,2	9,3	6,6	9,1
	5,7	8,9	2,2	3,4	6,2	7,7	11,1	9,2

Tab. 13

Mikrobiologische Merkmale der Standortböden verschiedener Tiefen (1968)

o. = ohne Stalldung

m. = mit "

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
Dehydrogenase-Aktivität ($\mathcal{P}$ TPF/10g/24 Std.)								
O-20 cm	254 479	359 393	575 613	530 561	1395 1032	1494 1178	1017 1171	861 1085
20-40 "	436 397	418 469	175 254	217 358	690 496	528 619	565 897	767 602
40-60 "	108 162	214 366	0 7	21 42	45 131	97 71	391 413	359 395
	o.							
	m.							
	o.							
	m.							
	o.							
	m.							

Bisher wurden die mikrobiologischen Merkmale nur absolut-quantitativ betrachtet. Zur näheren Charakterisierung der Eigenschaften der Böden wird es aber ausserdem für notwendig erachtet, die prozentuale Menge des mineralisierten C und N festzustellen, weil sich erst dadurch klare Einblicke in die tatsächliche Umsetzungsleistung (im Verhältnis zum Gesamtvorrat) ergeben. Die in der geprüften Zeit mineralisierte Menge an C und N wurde in % von C_t und N_t berechnet und als Abbauraten bezeichnet (Tab. 14).

Hierbei zeigte sich nun Pararendzina den anderen Böden eindeutig überlegen. An zweiter Stelle stand meist Parabraunerde, an dritter Rankerbraunerde und an letzter mit einem noch grösseren Abstand als absolut wieder Heidepodsol. Indem Parabraunerde und Rankerbraunerde nach der Tiefe des Bodens z. T. steigende, Parabraunerde aber fallende Abbauraten an Kohlenstoff aufwiesen, waren die Unterschiede zwischen den unteren Schichten dieser drei Böden geringer als in der Krume. Parabraunerde und Rankerbraunerde hatten sich sowohl aus chemischer als auch aus biologischer Sicht als weniger tiefgründig erwiesen als Heidepodsol und Pararendzina. Dass sich trotzdem die Abbauraten der unteren Schichten dieser Böden steigerten, überraschte zunächst. Möglicherweise besteht aber ein direkter Bezug insofern, als es gerade wegen der geringeren Tiefgründigkeit in den unteren Zonen zu einer relativen Anreicherung löslicher organischer Substanz kam, die nun unter aeroben Bedingungen im Laboratorium stärker abgebaut werden konnte.

Da die Reihenfolge der Bodenarten auch bei den übrigen mikrobiologischen Merkmalen interessiert, wurden alle auf 1 % C_t umgerechnet und der leichteren Übersicht wegen in Verhältniszahlen (Heidepodsol = 1) ausgedrückt. Da sowohl die Umlagerung als auch der Stallung von der Bodenart abhängige verschiedene Wirkungen verursachten, wurden für diese Gegenüberstellung nur die Original-Standortböden ohne Stallung berücksichtigt (Tab. 15).

Tab. 14

Abbaureate an Kohlenstoff und Stickstoff bei den Standortböden in % C_t und N_t

O. = ohne Stallung

m. = mit "

Heidepodsol	Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina				
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb	
Oberböden, im Mittel aller Ergebnisse									
C % min. als CO ₂ (7 Tage)	O. m.	0,35 0,36	0,29 0,27	1,33 1,56	1,26 1,31	1,07 0,99	1,05 0,88	1,75 1,77	1,78 1,88
N % min. als NO ₃ (9 Tage)	O. m.	0,78 0,96	0,73 1,17	2,48 2,38	1,77 1,80	2,71 2,19	2,56 2,07	4,42 4,36	4,18 4,30
N % min. als NO ₃ (27 Tage)	O. m.	3,30 4,13	3,35 3,86	6,35 6,52	6,46 5,73	4,06 3,11	5,05 3,99	6,79 7,14	8,08 7,13
Ober- und Unterbodenschichten 1968									
C % min. als CO ₂ , naturfeucht, 2 Tage inkubiert									
0-20 cm	O. m.	0,05 0,06	0,05 0,04	0,19 0,22	0,20 0,15	0,13 0,13	0,13 0,10	0,41 0,53	0,53 0,43
20-40 "	O. m.	0,06 0,05	0,04 0,05	0,16 0,21	0,12 0,13	0,20 0,19	0,18 0,11	0,31 0,41	0,36 0,40
40-60 "	O. m.	0,05 0,05	0,04 0,05	0,29 0,25	0,17 0,34	0,19 0,19	0,27 0,25	0,21 0,36	0,30 0,32

Tab. 15

Verhältnis der Bildung an CO_2 sowie NO_3 und der Keimzahlen nach Umrechnung auf je 1 % C_t bzw. N_t nach den Tab. 9-13

(Originalstandortböden ohne Stalldung, Heidepodsol = 1)

	Bodentiefe cm	Heide- podsol	Para- bräunerde	Ranker- braunerde	Para- rendzina
<u>im Mittel mehrerer Jahre nach den Tab. 10 und 11)</u>					
$\text{NO}_3/9$ Tage	0-20	1	3,2	<u>3,5</u>	5,0
$\text{NO}_3/27$ Tage	"	1	1,9	1,2	2,1
$\text{CO}_2/7$ Tage	"	1	3,8	3,1	5,0
DHA	"	1	7,2	<u>8,3</u>	16,6
Azotobacter	"	1	214	71	1075
Bakterien	"	1	5,6	2,9	9,3
Cellulosezer- setzer	"	1	46,7	6,5	84,2
Pilze	"	1	25,6	10,4	13,4
Streptomy- ceten	"	1	6,9	4,1	16,6

Proben verschiedener Tiefen 1968 (Tab. 12 u. 13)

$\text{CO}_2/2$ Tage	0-20	1	3,7	2,4	8,5
	20-40	1	3,4	<u>3,5</u>	6,5
	40-60	1	5,4	3,8	5,7
DHA	0-20	1	14	10	19
	20-40	1	3	<u>4</u>	8
	40-60	1	0	<u>1,7</u>	10
Azotobacter	0-20	1	410	30	1824
	20-40	1	82	77	1208
	40-60	1	9	4	399
Bakterien	0-20	1	15,2	2,0	12,7
	20-40	1	1,8	0,6	6,7
	40-60	1	2,7	0,9	5,4

Bei nur geringfügigen Abweichungen in den Umsetzungsleistungen (in der Tab.15 unterstrichen, hier steht Rankerbraunerde vor Parabraunerde) und mit Ausnahme der Pilzkeimzahl ergab sich nun für alle anderen Merkmale und einheitlich für alle Bodentiefen die folgende Rangfolge: Pararendzina > Parabraunerde > Rankerbraunerde > Heidepodsol. Absolut war die Rangfolge je nach Merkmal häufig verschieden und oft stand Rankerbraunerde vor Pararendzina und Parabraunerde, nun steht Rankerbraunerde an dritter Stelle. Umsetzungsleistungen wie Keimzahlen korrelieren jetzt eindeutig mit den Aciditätswerten, die die gleiche Rangfolge aufwiesen. Das war vor der Umrechnung auf $1\% C_t$ bzw. N_t nur bei der AzKZ und der C_{ek}Z der Fall gewesen, womit alle früheren Erfahrungen insbesondere über die Empfindlichkeit von Azotobacter gegenüber sinkenden Aciditätswerten (s.z.B. GAINNEY 1922, 1923; NIKLAS et al. 1926; STÖCKLI 1944; GLATHE und GLATHE 1966 u.a.) bestätigt werden. Die Azotobacter-Keimzahl korreliert hier auch sehr gut mit der Menge des DL Kaliums, was schon früher z.B. beim Göttinger E-Feld (AHRENS 1963 a) bemerkt wurde. Dagegen bestand keine Beziehung zum DL Phosphor, der an anderer Stelle (BIHLER 1927, STÖCKLI 1944, KRIUCKOWA und POPOWA 1939) als sehr bedeutsam für Azotobacter herausgestellt wurde. Darin muss jedoch kein Widerspruch liegen, denn letztlich kommt es auf die Gesamtkonstellation aller Bodenfaktoren an. So wird bei einem pH-Wert von unter 5,8, der im allgemeinen die untere Grenze für Azotobacter darstellt (STÖCKLI 1944), eine noch so hohe P-Versorgung nicht wirksam werden können, weil nach zahlreichen eigenen und anderen Erfahrungen Azotobacter von Mengennährstoffen im allgemeinen weniger beeinflusst wird als vom Säuregrad.

Die Verhältniszahlen können auch in Beziehung zu noch anderen Bodeneigenschaften gesehen werden, insbesondere zu Qualität und Verfügbarkeit der organischen Substanz und evtl. auch zu Hemmstoffen, die in erster Linie wohl im Heidepodsol z.B. in Form von toxischen Fe- und Al-Verbindungen enthalten sein dürften. Mit Ausnahme der PiKZ ist andererseits dem direkten Einfluss klimatischer Faktoren keine so grosse Wirkung beizumessen wie den Bodeneigenschaften, denn dann hätte nicht Heidepodsol, sondern Rankerbraunerde (feuchtester und kühlster Standort) oder Parabraunerde (trockenster Standort) an letzter Stelle stehen müssen. Die Pilze aber sind trockenheitsverträglich, im Gegensatz zu den ebenfalls trockenheitsverträglichen Streptomyceten jedoch säuretolerant bzw. sogar empfindlich gegenüber alkalischen Bedingungen, so dass sich möglicherweise aus dieser Kombination von Boden- und Klimafaktoren ihre höchste

Zahl sowohl absolut als auch relativ in Parabraunerde und nicht in Pararendzina ergab. Es ist (abgesehen vom Ammoniak, das je nach der Inkubationszeit entweder im Heidenodsol oder in der Rankerbraunerde am höchsten lag) übrigens der einzige Fall, wo ein mikrobiologischer Wert höher bei Parabraunerde als bei Pararendzina lag.

Nach LUNDEGARDH (1957) sind die Aciditätswerte als Ausdruck der Degradation bzw. des Entwicklungsstandes der Böden zu betrachten. Es dürfte zu erwarten sein, dass markante mikrobiologische Merkmale in gleicher Weise als Index der Bodenentwicklung gelten können. Bei den hier untersuchten Böden ergab sich mit Ausnahme von Azotobacter (der die gleichen Unterschiede schon vorher zeigte) eine eindeutige Übereinstimmung mit den Aciditätsfaktoren bzw. mit der Genese der Bodentypen jedoch erst dann, wenn Abbauraten wie Keimzahlen auf eine Einheit C_t bzw. N_t bezogen wurden. Der unbestreitbare quantitative Effekt organischer Substanz auf die heterotrophe Mikroflora kann also durch eine entsprechende Konstellation ungünstig wirkender Bodenfaktoren erheblich abgeschwächt werden. Die Übereinstimmung der AzKZ mit dem pH und anderen qualitativen Eigenschaften der vier Bodentypen bereits vor der Umrechnung auf eine Einheit C_t und N_t darf so interpretiert werden, dass dieser Organismus von der Menge der organischen Substanz des Bodens noch weniger beeinflusst wird als von deren Eigenschaften. Nach eigenen neueren noch unveröffentlichten Untersuchungen scheint dabei auch eine durch Kalkung des Heidenodsols eingestellte neutrale Bodenreaktion nur dann von positivem Einfluss zu sein, wenn gleichzeitig geeignete C-Quellen verabreicht werden. Mit der Kalkung allein konnte zwar der pH-Wert angehoben, aber nicht sofort eine jahrzehnte- oder gar jahrhundertlange Entwicklung zu saurem Humus rückgängig gemacht werden. Der geeignetste Humustyp für Azotobacter scheint der des Tschernosems zu sein (vgl. FEDOROW 1960). In der Scala der hier untersuchten Böden steht die Pararendzina diesem Typ am nächsten, der Heidepodsol aber am fernsten. Entsprechend verhielt sich die Keimzahl von Azotobacter.

E. Ergebnisse der Umlagerung der Standortböden

Da durch die Verlagerung der Böden in andere Standorte schon die Struktur wesentlich verändert wurde, können diese Böden nur mit gleich behandelten, also mit ebenfalls ausgehobenen und wieder eingeschichteten, Parzellen des Originalstandortes verglichen werden. Auf diese Tatsache wurde bereits hingewiesen. Dadurch ergibt sich nun im Vergleich zu den Originalstandortböden die Möglichkeit, auch den Umlagerungseffekt zu untersuchen, der jetzt betrachtet werden soll. Des besseren Vergleiches wegen wurden hierfür die in den Tabellen bereits aufgeführten absoluten Werte auf relative Zahlen umgerechnet und den Werten der gewachsenen Originalstandortböden (= 100 %) gegenübergestellt.

1. Wirkung der Umlagerung auf die Oberböden

a. Physikalische und chemische Merkmale (Tab. 16)

Es fällt auf, dass durch die Umlagerung teils negative und teils positive Veränderungen eingetreten sind. Die meist nur geringen Abweichungen in den Korngrößenfraktionen⁺⁾ beruhen wahrscheinlich auf den üblichen Fehlerschwankungen und können deshalb übergangen werden. Die Wasserkapazität zeigte eine wesentliche Veränderung - und zwar negative - nur beim Heidepodsol. Es ist an Hand der übrigen Merkmale nicht erkennbar, auf welcher Ursache dieser Rückgang beruht.

Klare Aussagen sind hinsichtlich der Veränderungen in der Acidität möglich. Sowohl die aktuelle als auch die potentielle Acidität sind im Heidepodsol und in der Parabraunerde verhältnismässig stark angestiegen, aber in der Pararendzina schwach und in der Rankerbraunerde verhältnismässig stark zurückgegangen. Diese Tendenzen werden durch die Basensättigung (V-Wert) eindeutig bestätigt. Ganz ähnlich verhielten sich auch die Gesamtaustauschkapazität (AK-Wert) und die zweiwertigen Kationen Ca + Mg. Ein Unterschied zur Acidität bestand nur insofern, als die zuletzt genannten Merkmale auch in der Pararendzina einen Rückgang aufwiesen. Dieser Boden hatte aber als einziger stärkere Abnahmen im Gehalt an C_{t-} (ca. 9-10 %) und N_{t-} (ca. 13-14 %) gezeigt, so dass wahrscheinlich der Rückgang der AK darauf beruht. Andererseits zeigte Parabraunerde

⁺⁾ vergl. Tab. 5

Tab. 16

Veränderungen physikalischer und chemischer Merkmale der Standortböden durch die Umlagerung
(Originalstandortböden = 100)

	Tiefe in cm	Heide- podsol		Para- braunerde		Ranker- braunerde		Para- rendzina	
		o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
WK	0-20	93	87	101	100	101	98	101	101
pH	0-20	94	94	89	92	110	107	101	101
	20-40	94	96	93	98	95	101	104	102
	40-60	101	99	94	100	103	95	102	101
AK	0-20	92	90	95	99	109	101	92	92
	20-40	89	99	91	115	96	96	104	113
	40-60	126	151	96	104	131	109	94	94
Ca-Mg	0-20	100	73	90	85	126	126	96	97
austb.	20-40	78	107	86	82	92	123	110	125
	40-60	118	148	89	124	124	65	97	96
K	0-20	113	177	94	113	119	112	109	104
austb.	20-40	100	132	93	148	110	105	152	93
	40-60	100	149	74	91	69	76	107	80
Na	0-20	86	86	57	120	42	58	0	(0)
austb.	20-40	96	95	83	58	142	51	20	9
	40-60	89	169	86	200	149	94	25	353
C _t	0-20	101	97	107	108	102	102	92	91
	20-40	114	113	130	124	102	103	101	89
	40-60	172	173	147	112	160	95	94	94
Hy. Acid.	0-20	108	129	168	145	55	71	97	95
H-Wert	0-20	102	113	159	127	76	87	63	100
V-Wert	0-20	97	90	71	84	113	112	102	100
DL P	0-20	103	96	87	84	117	134	132	109
DL K	0-20	106	169	85	107	109	116	105	107
N _t	0-20	105	100	100	99	96	102	89	86
C/N	0-20	96	97	107	109	106	100	103	106
Hum.-S.	0-20	103	100	108	108	112	107	99	101
Fulv.-S.	0-20	98	75	103	98	91	80	103	110
Rück- stand	0-20	98	110	98	98	102	109	99	97

einen ca. 7 % höheren Gehalt an C_t , der sich aber nicht in einer Erhöhung der AK niedergeschlagen hat. Der relativ starke Humusschwund bei der Pararendzina ist aus dem Zusammenwirken von Umlagerung und hoher biologischer Aktivität zu erklären. Die Umlagerung hat den Boden gelockert (vgl. Institut für Bodenkunde, 1972) und deshalb besser mit Sauerstoff versorgt, der die schon ohnehin hohe biologische Aktivität (vgl. Abbauraten Tab. 14) vermutlich deshalb noch steigerte, weil dieser Boden als einziger Carbonate enthielt und eine schwach alkalische Reaktion aufwies.

In den Humusfraktionen waren systematische Veränderungen nur in einigen Fällen bei Humin- und Fulvosäuren eingetreten. So zeigten Para- und Rankerbraunerde Zunahmen an Huminsäuren von ca. 8 bzw. 7 - 12 % und Rankerbraunerde allein gleichzeitig eine Abnahme an Fulvosäuren von ca. 10 %.

Auch die DL-löslichen Nährstoffe P und K zeigten ein unterschiedliches Bild. Bezüglich des P-Gehaltes verhielt sich Heidepodsol indifferent, Parabraunerde zeigte dagegen erhebliche Abnahmen (13-16%), Rankerbraunerde und Pararendzina aber starke Zunahmen (32-34 %). Im nahezu umgekehrten Verhältnis standen die Aciditätswerte, insbesondere bei Rankerbraunerde und Parabraunerde. Hier scheinen Zusammenhänge insofern zu bestehen, als die P-Löslichkeit aufs engste mit der biologischen Tätigkeit verknüpft ist, die bekannterweise mit zunehmender Acidität abnimmt und umgekehrt. Bei zunehmender Acidität entstehen darüberhinaus steigende Mengen freie Al- und Fe-Ionen, die mit Phosphat-Ionen schwer lösliche Verbindungen eingehen. Das DL K wurden demgegenüber bis auf ein Teilstück (Nn o.St.) in jedem Boden durch die Umlagerung erhöht. Das gilt mit der gleichen Ausnahme auch für austauschbares K. Da dieses Teilstück andererseits den stärkeren Anstieg in der Acidität aufwies und saure Bedingungen die Austauschbarkeit des K herabsetzen, liegt hierin möglicherweise der Hauptgrund für das Ausnahmeverhalten. Der sonst positive Effekt der Umlagerung auf die Verfügbarkeit des Kaliums in allen anderen Fällen steht vermutlich in engstem Zusammenhang mit einer stärkeren Verwitterung der Bodenminerale, die für die Nachlieferung des Kalium in erster Linie verantwortlich sind. Es ist anzunehmen, dass die Schichtgitter der Tonminerale durch die Umlagerung zumindest erweitert wurden und dadurch mehr K freisetzen. Dass der Mineralkomplex der Böden durch die Umlagerung stark angegriffen wurde, ist auch an dem Verhalten des

austb. Na erkennbar, das im Gegensatz zum K mit Ausnahme von Nn m.St. in allen Fällen erheblich abnahm. Da Na wesentlich beweglicher als K ist und deshalb leicht der Auswaschung unterliegt, praktisch also nicht fixiert wird, ohnehin in Böden des humiden Klimas nur noch in geringen Mengen vorhanden ist, musste eine durch die Umlagerung zusätzlich geförderte Verwitterung einen erhöhten Verlust an Na bewirken.

b. Mikrobiologische Merkmale (Tab. 17)

Auch bei den meisten mikrobiologischen Merkmalen hat die Umlagerung der Standortböden zu erheblichen Verschiebungen in der Höhe der Werte geführt, wobei die Richtung wieder je nach Boden und Merkmal verschieden war. Dabei stimmte das Verhalten der Parzellen mit und ohne Stalldung hier nicht so gut überein wie bei den chemischen Merkmalen.

Ausgesprochen krass hat sich der Gehalt an Azotobacter verändert. Aber allein Rankerbraunerde zeigte eine Zunahme (auf 203 %). In den anderen Böden waren demgegenüber Abnahmen zu verzeichnen, die beim Heidepodsol (auf 0%) und bei der Parabraunerde (bis auf 24 bzw. 1%) besonders stark waren. Die Veränderungen waren so stark, dass sich in diesem Falle sogar die Reihenfolge der Bodenarten änderte. Nun stand nicht mehr Parabraunerde, sondern Rankerbraunerde nach Pararendzina an zweiter Stelle (vgl. Tab. 10).

Ein ganz ähnliches Verhalten wie Azotobacter hatten die Bakterien- und Cellulosezerersetzer-Keimzahlen gezeigt. Ein Unterschied bestand insofern, als die Abnahmen im Heidepodsol und in der Parabraunerde sowie die Zunahmen in der Parabraunerde geringer waren, während Pararendzina teils Zunahmen (BKZ) und teils Abnahmen (CeKZ o.St.) aufwies.

Die Pilze zeigten bis auf einen Fall (Heidepodsol m.St.) im allgemeinen nur geringe Veränderungen, die kein System erkennen lassen. Der hohe Anstieg der Pilze im Heidepodsol m.St. ist nicht erklärbar. Die Streptomycceten wiederum gingen nur in der Pararendzina (auf ca. 55 %) zurück, nahmen dagegen aber im Heidepodsol, in der Parabraunerde und in einem Fall auch in der Rankerbraunerde (o.St.) zu. Sie verhielten sich somit nahezu umgekehrt wie die zuerst genannten Keimarten (AzKZ, BKZ, CeKZ).

Die Umlagerung hat also die einzelnen Keimarten unterschiedlich beeinflusst. Die stärksten Veränderungen hat zweifellos Azotobacter gezeigt. Diese Tatsache bestätigt erneut, dass Azotobacter auf Bodenveränderungen

Tab. 17

Veränderungen mikrobiologischer Merkmale der Standortböden
durch die Umlagerung
Originalstandortböden = 100

	Tiefe in cm	Heide- podsol		Para- braunerde		Ranker- braunerde		Para- rendzina	
		o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
AzKZ	0-20	0	0	24	1	203	130	91	66
	20-40	0	(0)	9	135	61	66	278	43
	40-60	0	(0)	0	100	100	0	900	102
BKZ	0-20	63	98	90	70	153	133	129	104
	20-40	28	68	130	84	116	79	58	99
	40-60	67	186	130	158	94	63	71	88
CO ₂	0-20	84	74	101	90	100	90	93	97
	20-40	82	100	97	79	93	61	117	86
	40-60	137	156	86	155	221	124	138	83
DHA	0-20	93	79	81	86	96	112	84	88
	20-40	96	118	124	141	77	125	136	67
	40-60	198	226	n.b.	600	216	54	92	96
O ₂	0-20	103	82	100	96	107	101	87	87
CeKZ	0-20	45	12	13	8	180	103	52	122
PiKZ	0-20	98	349	83	92	78	109	103	98
StKZ	0-20	182	107	162	134	143	91	58	55
NH ₄ O.Tg.	0-20	116	141	153	128	137	83	91	113
9.Tg.	0-20	114	140	130	102	48	93	117	91
27.Tg.	0-20	(0)	(0)	41	93	0	81	88	97
NO ₃ O.Tg.	0-20	112	131	47	75	75	102	96	81
9.Tg.	0-20	99	118	71	76	91	95	84	90
27.Tg.	0-20	106	90	102	88	120	102	106	91

besonders empfindlich reagiert (s.z.B. REMY 1907, WAKSMANN 1930, FEDOROW 1960). Dieser Organismus ist, wie bereits bei der Beschreibung der Standortböden ausgeführt, ausgesprochen abhängig von der Acidität. Das zeigt sich hier erneut mit aller Deutlichkeit an den umgelagerten Böden, von denen vor allem Heidepodsol und Parabraunerde einen Anstieg und Rankerbraunerde eine Abnahme der Acidität aufwiesen (Tab. 16). Jeweils in gleicher Richtung hatte sich die Zahl der Azotobacterzellen verändert, nur mit weit stärkeren Ausschlägen. Eine ähnliche, wenn auch nicht so starke, Abhängigkeit von der Acidität kann auch für die BKZ, CeKZ und die StKZ (FLAIG und KUTZNER 1960, MÜLLER 1965, BECK 1968) angenommen werden. Die ersten beiden Keimarten zeigten diese Abhängigkeit auch hier, die StKZ jedoch nicht. Für diese Arten müssen also noch andere Faktoren verantwortlich gewesen sein. Da ein Teil von ihnen stärker an der Humusbildung und weniger an Abbauvorgängen beteiligt ist, sind auch Veränderungen in der organischen Komponente der Böden zu beachten. Hierbei hatte sich ja gezeigt, dass vor allem Parabraunerde und Rankerbraunerde Zunahmen im Gehalt an C_t und Huminsäuren, Pararendzina dagegen starke Verluste an C_t und N_t und Heidepodsol kaum Veränderungen erkennen liess. Es muss jedoch dahingestellt bleiben, wie weit die Veränderungen der organischen Komponente ursächlich mit den nahezu gleichgerichteten Veränderungen in der Zahl der Streptomyceten verknüpft waren. Bodenatmung und Dehydrogenaseaktivität wurden durch die Umlagerung mehr gehemmt als gefördert. Den stärksten Rückgang zeigte Pararendzina. Bei diesem Boden bestehen offenbar enge Zusammenhänge mit dem starken Verlust an organischer Substanz. Bei den übrigen Böden ist die Tendenz uneinheitlich, auch in Bezug auf die Teilstücke. Im Durchschnitt ist die Bilanz bei Heidepodsol und Parabraunerde aber negativ, bei Rankerbraunerde jedoch leicht positiv.

Die Gesamtumsetzungen werden einerseits von der Menge und Verfügbarkeit der organischen Substanz, andererseits aber auch von den zur Verfügung stehenden mineralischen Nährstoffen sowie von den Aciditätswerten beeinflusst. Eine zunehmende Acidität, wie sie bei Heidepodsol und Parabraunerde eingetreten war, beeinflusst die Umsetzungen in der Regel negativ. Andererseits war die organische Substanz in Parabraunerde aber angestiegen, so dass bei den Gesamtumsetzungen offenbar eine gewisse Konkurrenz zwischen Acidität und C-Gehalt bestimmend war.

Der Gehalt an NH_4 war vor allem am Anfang und ausser bei Rankerbraunerde auch noch am neunten Tag der Inkubation bei allen umgelagerten Böden erhöht, am 27. Tag aber nicht mehr. Abgesehen vom Ausgangswert der luft-trockenen Böden, der nicht besonders repräsentativ sein kann, verhielt sich NO_3 nahezu umgekehrt. Hier war im Verhältnis zu den Originalstandortböden die Bildung am neunten Tag meist geringer, am 27. Tag aber meist höher. Mit zunehmender Inkubationszeit wurde also die NO_3 -Bilanz günstiger. Das gilt insbesondere für Rankerbraunerde. Nun ist bekannt, dass die ammonifizierenden Organismen auch im sauren Milieu aktiv sind, während die nitrifizierenden eine neutrale bis alkalische Reaktion bevorzugen. Diese Abhängigkeit konnte auch hier schon beim Vergleich der Originalstandortböden gezeigt werden (s.Tab.11). Sie ist bei den durch die Umlagerung hervorgerufenen Veränderungen erneut erkennbar, denn Rankerbraunerde hatte als ein einziger Boden in der Acidität abgenommen und gleichzeitig einen geringeren NH_4 -Gehalt und einen höheren NO_3 -Gehalt gegenüber dem gewachsenen Boden aufgewiesen. Diese Tatsache gilt mit besonderer Deutlichkeit für das Teilstück o.St.. Mit Stalldung ergaben sich nicht nur hier, sondern auch bei vielen anderen Merkmalen weniger positive Ausschläge, auch hinsichtlich der Acidität. Hier liegt offenbar ein besonderer Fall vor, auf den erst im II. Teil bei Besprechung der Stalldungwirkung eingegangen werden soll.

2. Wirkung der Umlagerung auf die Unterbodenschichten

Physikalische Merkmale wurden bei den Unterbodenschichten der umgelagerten Standortböden nicht untersucht. Von den chemischen Merkmalen wurden nur die wichtigsten auf relative Werte umgerechnet. Im Einzelfall muss daher auf die absoluten Ergebnisse verwiesen werden (Tab. 7-9). Die Unterbodenschichten wurden durch die Umlagerung z.T. noch stärker verändert als die Oberböden. Allerdings traten teilweise auch stärkere Unregelmässigkeiten zutage, wofür die schwierigere Probeentnahme mitverantwortlich gewesen sein mag.

a. Chemische Merkmale (Tab. 16)

Ähnlich wie bei den Oberböden hatten die pH-Werte auch bei den beiden unteren Zonen des Heidepodsoles und der Parabraunerde meist abgenommen und in der Rankerbraunerde sowie der Pararendzina leicht zugenommen. Diese Tendenzen werden durch die Hy-, V- und H-Werte wenigstens teilweise bestätigt.

Die AK zeigte nicht nur hinsichtlich der Böden, sondern auch hinsichtlich der Schichttiefen sehr uneinheitliche Ergebnisse. Sie hatte im

Heidepodsol und in der Rankerbraunerde in 40 - 60 cm, in der Pararendzina aber in 20 - 40 cm zugenommen. Bei der Parabraunerde waren die Tendenzen ebenfalls nicht einheitlich. Nur das Teilstück m.St. zeigte einen Anstieg, vor allem in 20 - 40 cm. Besonders bei Heidepodsol und Pararendzina sind gewisse Parallelen zwischen AK und den Kationen Ca + Mg zu finden.

Das austauschbare K wies ganz im Gegensatz zur Krume, wo es in allen vier Böden angestiegen war, sehr unregelmässige Veränderungen auf. Starke Zunahmen in beiden Schichten m.St. zeigte Heidepodsol. Dieser Boden hatte auch in der Krume den durchschnittlich stärksten Anstieg erkennen lassen. Bei den übrigen Böden ergaben sich Zunahmen vor allem noch in der mittleren Schicht, während die unteren Schichten insbesondere von Parabraunerde und Rankerbraunerde stärkere Abnahmen aufwiesen. Im allgemeinen wurde also die bei den Krumen eindeutig positive Wirkung der Umlagerung auf die Freisetzung des K nach unten zunehmend schwächer bzw. kehrte sich sogar um. Ein nahezu entgegengesetztes Bild zeigte aber das austauschbare Na. Während in der Krume generell starke Abnahmen registriert wurden, war nach der Tiefe ein zunehmender Anstieg zu verzeichnen. Diese Tatsache unterstreicht die schon in Abschn.H.1.a. geäußerte Vermutung, dass die Umlagerung eine erhöhte Freisetzung der einwertigen Metallkationen in der Krume bewirkte, wobei aber Na im Gegensatz zu K mit Sicherheit leichter ausgewaschen wurde. Einwaschungs- und Freisetzungsvorgänge führten vermutlich zusammen zu der Na-Anreicherung in den unteren Schichten gerade der umgelagerten Parzellen.

Nach Bodenarten unterschiedliche Tendenzen zeigte der C-Gehalt. Während Heidepodsol und Parabraunerde nach unten einen zunehmenden Anstieg (in 40 bis 60 cm bis auf 173 % bzw. 147 %) aufwiesen, zeigte Rankerbraunerde nur in 20 - 40 cm einen einheitlich leichten Anstieg und Pararendzina sogar meist Abnahmen (um 6 - 10 %). Jeweils ähnliche Tendenzen hatten die H- und AK-Werte aufgewiesen, was aufgrund der Bedeutung der organischen Substanz als Sorptionsträger erklärlich ist. Für die Fälle mit C-Anreicherung in den unteren Schichten können wohl zwei Ursachen in Betracht kommen: 1. Verlagerung löslicher Komponenten von oben nach unten, und 2. Anreicherung organischer Substanz durch tiefgehende Pflanzenwurzeln, in beiden Fällen evtl. bedingt durch die lockere Struktur der umgelagerten Parzellen. Andererseits kann der Verlust an C_t in der umgelagerten Pararendzina wie bei der Krume auf eine durch die Lockerng in Verbindung mit dem hohen pH-Wert bedingte

verstärkte Mineralisierung zurückgeführt werden.

b. Mikrobiologische Merkmale (Tab. 17)

Die BKZ hat auf die Umlagerung bei Rankerbraunerde und Pararendzina vorwiegend mit einem Rückgang, bei Heidepodsol und besonders Parabraunerde aber häufig mit einer Zunahme reagiert. Bei der Krume (Tab. 17) hatte sie jeweils ein genau umgekehrtes Verhalten gezeigt. Im Falle der Krume ist eine gewisse positive, im Falle der Unterbodenschichten eine mehr negative Korrelation mit den pH-Werten zu verzeichnen. Hier lassen sich aber gewisse Zusammenhänge mit dem C-Gehalt erkennen, der in den unteren Schichten des Heidepodsols und der Parabraunerde ebenfalls auffallend angestiegen war. Diese Beziehung gilt offenbar auch für die ähnliche Tendenzen aufweisenden Umsetzungsaktivitäten: CO₂-Bildung und DHA.

Sehr starke durch die Umlagerung hervorgerufenen Abweichungen vom Originalstandortboden zeigte die AzKZ. So wurde Azotobacter beim Heidepodsol nicht mehr gefunden. Bei Parabraunerde traten dagegen keine klaren Tendenzen hervor, obwohl die Umgelagerte Krume die stärkste Dezimierung (auf 1,2 - 0,2 %) aufwies. In der Rankerbraunerde hatte die AzKZ zwischen 37 - 50 % abgenommen, in der Pararendzina aber in einem Falle auf 278 (o.St. mittlere Schicht), im anderen Falle auf 900 % (o.St. untere Schicht) zugenommen. Bei den letzten beiden Böden hat Azotobacter also in den untersten Schichten jeweils umgekehrt auf die Umlagerung reagiert wie in der Krume. Während bei der Krume die Veränderungen in der AzKZ auf die in gleiche Richtung veränderten pH-Werte zurückgeführt werden konnten, ist eine solche Beziehung bei den unteren Schichten nicht gegeben. Es ist lediglich festzustellen, dass die AzKZ in vielen Fällen, insbesondere aber bei der Pararendzina, ein umgekehrtes Verhalten auf die Umlagerung zeigte wie die Bakterien-Keimzahl.

F. Erträge und Wachstum höherer Pflanzen (Tab.18)

Da aus verschiedenen Gründen (z. B. Mäusefrass, Unwetter) die Erträge einzelner Standorte nicht von jedem Jahr auswertbar waren, wurden nur die kompletten Jahre berücksichtigt. Insgesamt konnten bis 1968 von 17 Anbaujahren 14 Jahre ausgewertet werden.

Tab. 18

Ertrags- und Wachstumsleistung der Standortböden

O. = ohne Stalldüngung

m. = mit "

	Heidepodsol		Parabraunerde		Rankerbraunerde		Pararendzina	
	S	Ss	N	Nn	W	Ww	B	Bb
	Erträge in kg/6m ²							
Kartoffeln (Mittel v. 8 J.)	O.	17,60	17,88	16,10	18,21	12,69	13,53	12,72
	m.	19,79	19,26	18,18	18,10	13,30	15,23	13,28
Haferkorn (Mittel v. 6 J.)	O.	2,29	2,52	1,58	2,01	1,18	1,37	1,62
	m.	2,43	2,44	1,65	2,14	1,18	1,37	1,69
Haferstroh (Mittel v. 6 J.)	O.	3,27	3,30	2,78	2,81	3,14	3,36	3,96
	m.	3,06	3,11	2,73	2,75	3,14	3,63	3,80
	Wi-Raps nach 9 Wochen in g Tr.M./Gefäß(1968)							
Wurzelmasse	O.	0,111	0,106	0,129	0,091	0,209	0,198	0,190
	m.	0,140	0,136	0,136	0,137	0,198	0,186	0,206
Sprossmasse	O.	0,438	0,403	0,422	0,300	0,677	0,600	0,577
	m.	0,490	0,469	0,382	0,370	0,709	0,623	0,574

Bei den nicht umgelagerten Standortböden ergaben sich die folgenden Rangfolgen:

Kartoffeln:	Heidepods.	>	Parabr.	>	Rankerbr.	≈	Pararendz.
Haferkorn:	Heidepods.	>	Pararendz.	≈	Parabr.	>	Rankerbr.
Haferstroh:	Pararendz.	>	Heidepods.	≈	Rankerbr.	>	Parabr.
Rapswurzel:	Rankerbr.	>	Pararendz.	>	Parabr.	>	Heidepods.
Rapsspross:	Rankerbr.	>	Pararendz.	>	Heidepods.	>	Parabr.

Die Rangfolgen sind also je nach Produkt sehr verschieden. Während bei Kartoffeln und Haferkorn der nördlichste Bodentyp an erster Stelle steht (Heidepodsol), ist es beim Haferstroh der südlichste (Pararendzina). Im Gefässversuch (Wi-Raps) steht andererseits Rankerbraunerde eindeutig vor Pararendzina, Heidepodsol und Parabraunerde.

Vergleicht man die Wachstumsleistung der Bodenarten mit den chemischen und biologischen Ergebnissen (Tab. 5,6,10,11), so besteht eine gewisse positive Korrelation nur zwischen dem Rapswachstum im Gewächshaus und der Bodenatmung sowie dem gebildeten Nitrat-Stickstoff. Demgegenüber zeigten die Kartoffel- und Haferkornenerträge der Standorte zu wichtigen chemischen und biologischen Kennwerten (DL K und P, C/N, pH, AZK, BKZ, CeKZ, DHA) eine entgegengesetzte Tendenz. Dieses Ergebnis lässt den Schluss zu, dass für die Ertragsbildung in den Standorten Faktoren des Klimas wahrscheinlich von grösserem Gewicht waren als Faktoren des Bodens.

Die Umlagerung (Tab. 19) der Standortböden hat sich auch hier verschieden ausgewirkt. Die Erträge an Hafer und Kartoffeln waren mit Ausnahme von Pararendzina etwas gestiegen. Ganz im Gegensatz dazu standen aber die Ergebnisse des Gefässversuches, wo alle umgelagerten Böden Mindererträge zeigten. Dabei machte auch Rankerbraunerde keine Ausnahme, obwohl deren chemische und biologische Eigenschaften durch die Umlagerung wesentlich verbessert worden waren (Tab. 16 und 17).

Tab. 19

Wirkung der Umlagerung der Standortböden auf die Ertragsbildung
(im Mittel m. und o. St., nicht umgelagert = 100)

	Ss	Nn	Ww	Bb
Kartoffeln	99,3	106,0	110,6	87,5
Hafer-Korn	105,1	128,4	116,1	97,0
Hafer-Stroh	101,3	100,7	111,5	96,1
Wi-Raps (Sprossmasse)	94,0	83,3	88,3	86,8
" (Wurzelmasse)	96,0	85,7	94,1	95,5

Hierfür kann keine Erklärung gegeben werden. Andererseits lassen sich die höheren Erträge auf den umgelagerten Parzellen draussen in den Standorten auf eine stärkere Lockerung und Durchlüftung (die später durch physikalische Untersuchungen auch nachgewiesen wurde, vgl. Inst. für Bodenkunde 1972⁺ und Abschnitt Diskussion) und die damit verbundene Erschliessung des Nährstoffpotentials der tieferen Schichten zurückführen. Das Ausnahmeverhalten der Pararendzina ist andererseits mit dem erheblichen Humusverlust in der Krume ($C_t - 8,5\%$, $N_t - 12,4\%$) zu erklären, der die an sich günstige Wirkung der Umlagerung vermutlich wieder kompensiert hat (vgl. Abschn. H. 1. a.).

G. Zusammenfassende Auswertung

Bisher sind nicht sehr viele systematische Untersuchungen bekannt geworden, die sich mit der mikrobiologischen Charakterisierung verschiedener Bodentypen befassen. Nach den bis jetzt vorliegenden würde man bezüglich ihres Belebtheitsgrades die dem Klimaversuch zugrundeliegenden Bodentypen etwa folgendermassen anordnen müssen: Pararendzina > Parabraunerde > Rankerbraunerde > Heidepodsol (vgl. LOUB 1956, KÖNIG 1965, SCHOLZ-KÖNIG 1966, LOUB 1965, THALMANN 1967, OTTOW 1969). Als charakteristisch für die einzelnen Bodentypen kann auch ihr Artenreichtum angesehen werden. LOUB (1956) stellte dafür die folgende Rangfolge auf: Tschernosem > eutrophe Braunerde > oligotrophe Braunerde ≈ Flachmoore und anmoore Stellen > Gley > Podsol > Salzböden. In einer weiteren Untersuchung konnte LOUB (1965) nachweisen,

⁺) nachträglich eingefügt

dass Azotobacter in Podsolböden nicht auftrat und dass an dem Abbau seiner organischen Substanz in sehr starkem Masse Pilze beteiligt waren. Viele aus Podsolböden isolierte Pilze waren starke Säure- und Antibiotikaproduzenten, so dass diese u.U. die ganze Dynamik dieser Böden bestimmen können.

Bei den eigenen Untersuchungen wurde demgegenüber im Podsol die geringste Zahl an Pilzen gefunden. Hinsichtlich Azotobacter stimmten die eigenen Befunde dagegen mit denen von LOUB überein, denn Azotobacter trat nur sporadisch und nur in der Krume des Heidepodsols auf und entsprach im übrigen der oben genannten Reihenfolge der Bodentypen. Dagegen bestand zunächst keine Übereinstimmung bei den übrigen Keimgruppen und den Umsetzungsleistungen. Dieser Widerspruch **bestand aber** nicht mehr, wenn die Keimzahlen bzw. Umsetzungen auf eine einheitliche Menge an C_t bzw. N_t umgerechnet wurden. Dann entsprachen die Kriterien mit geringfügigen Ausnahmen der obigen Reihenfolge nicht nur bei den Krumen, sondern auch bei den Unterbodenschichten. Dabei zeigten die Böden die grössten Unterschiede im Gehalt an Azotobacter (vgl. Tab.15). Dieser Organismus erwies sich also als besonders abhängig von den Bodeneigenschaften. Geringere Unterschiede ergaben sich bei den übrigen Keimgruppen, die geringsten bei der Mineralisierung an C und N. Die Reihenfolge in der Belebtheit war nun auch identisch mit der Reihenfolge der Acidität, d.h. der geringsten Acidität entsprach die stärkste Belebtheit und umgekehrt. Nur Pilze machten eine entschiedene Ausnahme. Sie zeigten die relativ stärkste Besatzdichte in der Parabraunerde, was mit dem Klima in Völkenrode (mild und im Verhältnis am trockensten) in Beziehung gebracht wird, da Pilze im allgemeinen trockene und warme Standorte bevorzugen bzw. sich dort besser als andere Gruppen durchzusetzen vermögen (s. RIPPEL 1940, KREHL-NIEFER 1951, NIETHAMMER et al. 1959).

Nach allgemeiner Kenntnis spielt für die heterotrophe Mikroflora die Menge der umsetzbaren organischen Substanz eine zentrale Rolle, da sie energetisch den begrenzenden Faktor darstellt. Die Eigenschaften bzw. der Gesamtzustand des Bodens spielen aber eine mindestens ebenso wichtige Rolle speziell für solche Arten von Organismen, die stark von qualitativen Faktoren abhängen. Im vorliegenden Falle gilt dies vor allem für Azotobacter und Cellulosezersetzer, deren Zahl schon vor der Umrechnung auf eine Einheit C_t eindeutig mit dem pH-Wert anstieg, obwohl der Humusgehalt gleichzeitig abnahm (Tab. 20).

Bei den übrigen mikrobiologischen Merkmalen wirkte die Menge der organischen Substanz stärker ausgleichend, und erst nach der Umrechnung zeigte sich klar der Einfluss des Bodenzustandes. Daraus ergibt sich, dass für die Charakterisierung des Zustandes bzw. der Genese eines Bodens der relative Aspekt wichtig ist. Es ist aber zu untersuchen, ob und wo evtl. die absoluten Werte als Maßstab herangezogen werden können bzw. müssen. Da es sich bei den Keimzahlen und ihren Stoffwechselprodukten auch um Wachstumsfaktoren für die höhere Pflanze handelt (z.B. CO_2 , biologisch aktivierte Nährstoffe wie Schwefel, Stickstoff und Phosphor), liegt es nahe, die Werte in Beziehung zum Produktionsvermögen der Böden zu setzen. Diese Beziehung wurde in Tab. 20 durchgeführt, wobei die Teilstücke mit Stalldung wegen der teilweisen unterschiedlichen Stalldungwirkung ausgeklammert wurden. Dabei zeigt sich nun, dass die Erträge der Standortböden zu wichtigen chemischen (DL K, pH) und zu den meisten mikrobiologischen Merkmalen eine nahezu entgegengesetzte Tendenz aufweisen; denn in den Erträgen steht bis auf Haferstroh Heidepodsol an erster, in den mikrobiologischen Werten aber meist an letzter Stelle, insbesondere bei den Keimzahlen. Ganz anders aber sieht der Vergleich mit dem Rapswachstum im Gefäßversuch aus. Hier gibt es nun eine weitgehend positive Korrelation zwischen dem Produktionsvermögen der Böden einerseits und insbesondere den Umsetzungsleistungen andererseits, wobei die Spitze in beiden Fällen Rankerbraunerde einnimmt. Da das Rapswachstum unter einheitlichem Klima stattfand (Gewächshaus), muss angenommen werden, dass die Erträge an den Standorten stärker von Faktoren ausserhalb des Bodens bestimmt wurden. Es liegt nahe, hierbei an Klimafaktoren zu denken, auf die näher im II. Teil eingegangen wird, denn bei den verlagerten Böden traten sie noch eindeutiger hervor. Erträge verschiedener Standorte können demnach nicht zum Vergleich mit Bodenmerkmalen herangezogen werden. Bleibt für die Ausgangsfrage nach dem Vergleich des Produktionsvermögens der Böden mit den mikrobiologischen Werten als Maßstab nur der Gefäßversuch mit Wi-Raps. Dieser zeigte das stärkste Wachstum bei Rankerbraunerde, das zweitstärkste bei Pararendzina. Diese Reihung ergaben auch die absoluten Werte der Umsetzungen (Tab. 20), während im relativen Bezug zu C_t bzw. N_t die Spitze stets Pararendzina einnahm (Tab. 15). Nur die Keimzahlen lagen bis auf Pilze auch absolut am höchsten in der Pararendzina. Doch sind als Maßstab der mikrobiologischen Aktivität Umsetzungsleistungen wohl besser als Keimzahlen geeignet, weil die Keime im Boden auch im

Tab. 20

Zusammenhänge zwischen den Erträgen und verschiedenen Bodenfaktoren in Relation zu Heidepodsol

(im Mittel aller Untersuchungen, ohne Stalldung)

	Heide- podsol (S)	Para- braunerde (N)	Ranker- braunerde (W)	Para- rendzina (B)
Kartoffeln	100	92	72	72
Haferkorn	100	69	52	71
Haferstroh	100	85	65	121
Wi-Raps (Spross)	100	97	155	132
" (Wurzel)	100	116	188	171
Ton	100	165	487	235
Schluff	100	265	309	407
pH	100	112	102	134
DL P	100	169	53	53
DL K	100	178	324	289
AK	100	37	71	60
V-Wert	100	91	91	121
C _t	100	17	44	19
N _t	100	33	100	43
Bakterien	100	94	128	175
Azotobacter	100	3560	3056	20100
Pilze	100	393	420	233
Cellulosezerersetzer	100	787	287	1587
Streptomyceten	100	115	178	311
O ₂ -Aufnahme	100	63	146	131
Dehydrogenaseaktivität	100	123	368	317
NH ₄ 9. Tag Inkub.	100	54	214	14
NO ₃ " " "	100	105	351	244
NO ₃ 27. " "	100	63	123	88

Ruhestadium vorhanden sein können. Wenn sich bei den vorliegenden Ergebnissen auch nicht immer eindeutige Beziehungen ergaben, so lassen sie doch erkennen, dass mit Blick auf den Bodenzustand die mikrobiologischen Merkmale in Relation zum Gehalt an C_t bzw. N_t , mit Blick auf das Produktionsvermögen aber in absoluten Werten zu vergleichen sind. Jedoch erst die Untersuchung einer grösseren Anzahl von Bodenarten kann in dieser für die sachgerechte Einschätzung mikrobiologischer Kennwerte wichtigen Frage endgültige Klarheit schaffen.

Zusammenfassend ergeben sich aus den bisherigen Vergleichen die folgenden Reihenfolgen:

Nach pH	B > N > W > S
nach mikrobiol. Werten relativ	B > N > W > S
nach mikrobiol. Werten absolut	
Keimzahlen	B > W > N > S
Umsetzungen	W > B > N > S
Erträge der Standortböden	S > N > W > B
Rapswachstum der " im Gefäss	W > B > N > S

Von der Beschreibung des Zustandes, auf den es hier zunächst ankam, und der von der Entwicklung der einzelnen Böden her verständlich ist, lassen sich nun weitere Beziehungen zur Wirkung der Umlagerung ableiten.

Die Umlagerung der Böden hat sowohl positive als auch negative Veränderungen hervorgerufen. Es wird nun versucht, die in den einzelnen Böden und Schichten aufgetretenen Tendenzen auf eine Zahl zu reduzieren. Zu diesem Zweck wurden die relativen Abweichungen der umgelagerten Böden (Originalstandortböden = 100) zu einem geometrischen Mittel ($GM = \sqrt[n]{x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 \dots x_n}$) berechnet und zwar im Querschnitt der Teilstücke mit und ohne Stallung. Ferner wurde die Zahl der positiven und negativen Veränderungen ausgezählt.

Die Berechnung von Mittelwerten aus sehr heterogenen Merkmalen birgt natürlich die Gefahr einer allzustarken Vereinfachung in sich, zumal den einzelnen Merkmalen ein sehr unterschiedliches Gewicht, das schwer abzuschätzen ist, zukommt. Sie dürfen daher nur als Ausdruck einer allgemeinen Tendenz und nur in Verbindung mit den einzelnen Kennwerten verstanden werden. Bei der Berechnung blieben einige Merkmale, deren Bedeutung vor allem im Hinblick auf den Umlagerungseffekt gar nicht beurteilt werden kann, unberücksichtigt. Hierzu zählen Korngrößen, austauschbares Na und Humusrückstand.

Von den aciditätsanzeigenden Merkmalen wurden nur pH- und Hy-Wert, nicht aber auch noch H- und V-Wert berücksichtigt, weil sie sich meist gleichsinnig verhielten und in der Summe ein zu starkes Übergewicht gegeben hätten. Zunahmen in der Hy und im Gehalt an Fulvosäuren, die ja nach allgemeiner Meinung negativ zu beurteilen sind, wurden mit dem gleichen Gewicht als Minuswerte eingesetzt. $\text{NH}_4\text{-N}$ wurde nur vom neunten Tag der Inkubation berücksichtigt, weil der Anfang (Tag 0) nicht repräsentativ ist und am 27. Tag nur noch in einigen Fällen NH_4 gefunden wurde.

Von Bedeutung ist einmal ein vertikaler und zum anderen ein horizontaler Vergleich der Bodenschichten. Durch den vertikalen Vergleich, d.h. durch den Vergleich der relativen Unterschiede zwischen der Krume und den unteren Schichten, ist es möglich, evtl. Veränderungen in der Tiefgründigkeit zu erkennen. Der horizontale Vergleich dagegen soll einen Überblick über die **Haupttrichtung** der Veränderungen der einzelnen Schichten der umgelagerten Böden ermöglichen. Im ersten Falle ist jeweils die Krume die Basis (= 100 %), im zweiten Falle die jeweilige Schicht des Original-Bodens. Die Ergebnisse sind graphisch aufgetragen (Abb. 6 und 7).

Aus dem vertikalen Vergleich (Abb.6) ergibt sich, dass mit einer Ausnahme (Heidepodsol in 20-40 cm) die mikrobiologischen Merkmale nach der Tiefe zu (insgesamt gesehen) rascher abnehmen als die chemischen. Das gilt insbesondere für Parabraunerde und Rankerbraunerde. Hierfür dürfte wohl in erster Linie der nach unten abnehmende O_2 -Gehalt massgebend gewesen sein. Die Ausnahme beim Heidepodsol überrascht zunächst, da die chemischen Merkmale diese Tendenz nicht aufwiesen. Sie zeigte sich übrigens auch noch in den anderen Standorten (vgl.II.Teil). Für dieses charakteristische Verhalten des Heidepodsols können verschiedene Gründe massgebend gewesen sein. Einmal enthält dieser Boden auch in der mittleren Schicht den höchsten C-Gehalt, der möglicherweise noch weitgehend unzersetzt bei Luftzutritt (nach der Probenahme und bis zur Untersuchung vergingen meist 1-3 Tage) die Mikroflora stark aktivierte. Als ein weiterer Unterschied zu den übrigen Böden ist zu beachten, dass Heidepodsol an der Oberfläche verhältnismässig rasch austrocknet und dann sehr schwer wieder benetzbar ist (vgl. KÖHNLEIN 1954). Es ist daher möglich, dass die mittlere Schicht schon aufgrund der gleichmässigeren Feuchtigkeit aktiver war als die obere. Weiterhin wäre jedoch auch die Frage nach evtl. toxischen bzw. antibiotisch wirksamen

Abb. 6: Wirkung der Umlagerung der Standortböden

Relative Stellung der Unterbodenschichten im Mittel einer Reihe von Merkmalen nach den Tab. 7-9 und 12-13

(Oberböden = 100)

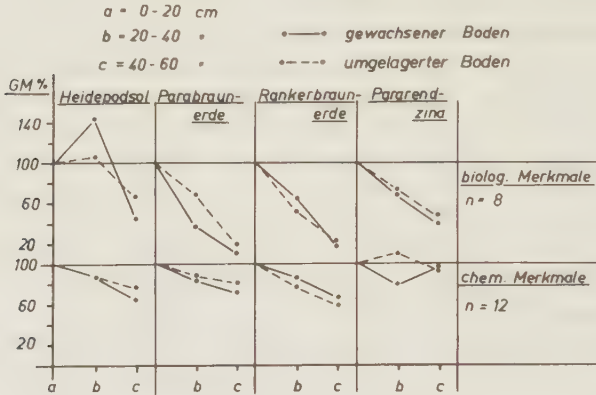
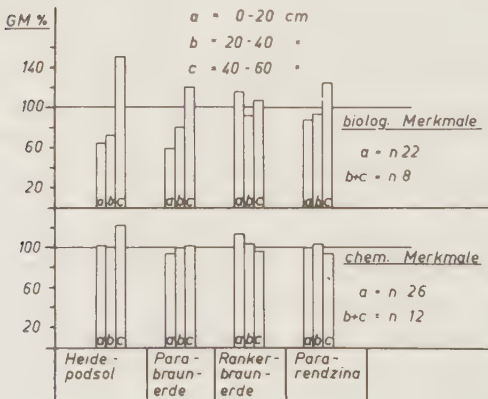


Abb. 7: Wirkung der Umlagerung der Standortböden

Relative Stellung der umgelagerten drei Bodenzonen im Mittel einer Reihe von Merkmalen nach den Tab. 5-13

(gewachsener Boden = 100)



Stoffen im A_p -Horizont zu klären, die LOUB (1965) bei Podsolböden für wahrscheinlich hält.

Hinsichtlich der Tiefgründigkeit (Vertikaler Vergleich, Abb. 6) sind bei den einzelnen Böden etwas unterschiedliche Tendenzen festzustellen. Es zeigte sich, dass vor allem Parabraunerde und Pararendzina, teils aber auch Heidepodsol, durch die Umlagerung chemisch und biologisch tiefgründiger wurden (die Kurven der umgelagerten Böden fallen nicht so steil ab). Rankerbraunerde zeigte demgegenüber eher das Gegenteil.

Hinsichtlich des Einflusses der Umlagerung auf die Eigenschaften der einzelnen Schichten (horizontaler Vergleich, Abb. 7) gab es starke boden- und schichtabhängig Unterschiede. So wurden Heidepodsol, Parabraunerde und Pararendzina in der ersten und zweiten Schicht meist negativ, in der dritten Schicht aber meist positiv verändert, während sich die Verhältnisse bei der Rankerbraunerde nahezu umgekehrt verhielten. Dass hierbei nicht einige Extremwerte das Gesamtbild verfälscht haben, geht eindeutig auch aus dem jeweiligen Prozentsatz der positiven Veränderungen (Tab. 21) hervor.

Es scheint demnach so, als wenn zwischen verbesserter Tiefgründigkeit auf der einen Seite und ungünstigem Einfluss auf die Krume auf der anderen Seite ein reziprokes Verhältnis besteht. Erklärbar ist dies evtl. dadurch, dass der negative Einfluss der Umlagerung auf die Krume (Ss, Nn, Bb) über eine zunächst verstärkte Mineralisierung erfolgte, wobei schliesslich lösliche Bestandteile in tiefere Schichten gerieten, die hier eine Aufbesserung, also eine stärkere Tiefgründigkeit, bewirkten.

Bei der Krume waren die durch die Umlagerung ausgelösten Veränderungen in der Acidität und im Basenbesatz von besonderem Gewicht. Gerade in diesen Punkten wurde Rankerbraunerde betont günstig, Heidepodsol und Parabraunerde aber wurden betont ungünstig beeinflusst, während Pararendzina vor allem einen starken Humusabbau aufwies. Hierin muss der Hauptgrund gesehen werden, dass Rankerbraunerde eine Steigerung, die übrigen Böden aber meist eine Verminderung insbesondere in den Keimzahlen der Bakterien, Azotobacter und Streptomycceten sowie in der Dehydrogenasaktivität erkennen liessen. Kennzeichnend war ferner, dass der NH_4 -Gehalt der Rankerbraunerde abnahm, der der übrigen Böden aber anstieg. Ein zu erwartendes umgekehrtes Bild in der NO_3 -Bildung trat jedoch erst am 27. Tag der Inku-

Tab. 21

Zahl der positiven Abweichungen der umgelagerten Standortböden von den Original-Standortböden in % der Gesamtfälle

	Heide- podsol	Para- braunerde	Ranker- braunerde	Para- rendzina	Fälle (n)
	(Ss)	(Nn)	(Ww)	(Bb)	
<u>Vertikaler Vergleich (s.Abb.6)</u>					
biol.Merkmale: 20 - 40 cm	33	88	13	38	8
40 - 60 "	83	75	38	50	8
chem. " : 20 - 40 "	50	58	17	67	12
40 - 60 "	58	67	25	50	12
<u>Horizontaler Vergleich (s.Abb.7)</u>					
biol.Merkmale: 0 - 20 cm	27	23	73	27	22
20 - 40 "	17	50	25	38	8
40 - 60 "	83	50	38	38	8
chem. " : 0 - 20 "	38	27	85	50	26
20 - 40 "	25	33	67	67	12
40 - 60 "	67	42	50	25	12

Anm.: Bei S bzw. Ss wurde Azotobacter nicht mitgezählt und berechnet, weil keine Bezugswerte vorhanden waren. Bei diesem Boden ergeben sich daher bei den biologischen Merkmalen 2 Fälle weniger.

bation in Erscheinung, wobei sich die Bodenarten aber weniger stark unterscheiden. Dieses Ergebnis, d.h. stärkere Betonung der Ammonifizierung bei fallenden, aber stärkere Nitrifizierung bei steigenden pH-Werten, bestätigt die Erfahrung früherer Autoren (s.z.B. **MITSCHERLICH** und **SAUERLANDT** 1935). Ähnliche bodenabhängige Unterschiede wie die NO_3 -Bildung am 27. Tag zeigten die Atmungsvorgänge. Interessanterweise liessen beide Merkmale die negativen (Heidepodsol, Parabraunerde) bzw. die schwächeren positiven (Rankerbraunerde) Ausschläge aber in den Proben m.St. erkennen. In diesen Fällen war aber auch die Acidität im Verhältnis höher (vgl. Tab.16 und 17), so dass die Ergebnisse dadurch zu erklären sind.

Die Atmungsaktivität wurde durch die Umlagerung am stärksten bei Pararendzina gesenkt. Bei diesem Boden waren aber auch die grössten Verluste an C_t und N_t (8,4 - 13,6 %) eingetreten. Pararendzina hatte auf

die Umlagerung übrigens in vieler Hinsicht anders reagiert. So wurde die Alkalität hier sogar etwas erhöht, die AK und der Besatz mit zweiwertigen Kationen aber erniedrigt. Die höhere Alkalität ist vermutlich auf eine verstärkte Bildung von Bicarbonaten zurückzuführen. Die Abnahme der AK und der Kationen kann andererseits mit dem Verlust an organischer Substanz erklärt werden. Von der chemischen Seite (hoher Carbonatgehalt) waren bei diesem Boden alle Voraussetzungen für eine intensive Tätigkeit der Mikroorganismen gegeben. Die hohen Abbauraten, die höchsten unter diesen vier Bodenarten, weisen in die gleiche Richtung. Es ist deshalb erklärlich, dass die Umlagerung und die damit verbundene Lockerung und Luftzufuhr den Abbau dieses Bodens noch mehr forcierte. Wohl erst im Gefolge des Verlustes an organischer Substanz gingen schliesslich auch einige Keimgruppen und die Umsetzungsaktivitäten in der umgelagerten Pararendzina zurück.

Während der Umlagerungseffekt der Pararendzina im Zusammenhang mit ihrem hohen Gehalt an Carbonaten gesehen werden kann, liegt der Grund für das jeweilige Verhalten der übrigen Böden wahrscheinlich in ihrem verschiedenen Entwicklungszustand. So sind Heidepodsol und Parabraunerde schon mehr oder weniger degradiert bzw. gealtert, während Rankerbraunerde genetisch noch verhältnismässig jung ist und höhere Anteile an Primärmaterial enthält. Die Gründe hierfür liegen in dem späten Beginn der Entwicklung (periglacial), dem vorherrschenden Gestein (Grauwacke und Schiefer) und den Erosionserscheinungen, den dieser Boden unter den an seinem Standort herrschenden Bedingungen ausgesetzt ist (vgl. Kap. D-F). Somit ist anzunehmen, dass die Umlagerung und die damit verbundene starke Lockerung und räumliche Neuverteilung der Bodensubstanz bei den Böden, die bereits Alterungsstufen erreicht haben, deshalb negativ gewirkt hat, weil die Verwitterungs- und Mineralisierungsvorgänge (über ein zuträgliches Mass hinaus) intensiviert wurden. Als Folge muss eine partielle Zerstörung des Gefüges, der Sekundärbestandteile und der organo-mineralischen Komplexe angenommen werden. Demgegenüber aber kann nach allgemeinen Kenntnissen (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1966) bei jungen Böden mit hohen Anteilen an Primärmaterial eine beschleunigte Verwitterung die Bildung wertvoller Tonminerale fördern und somit den Belag mit basischen Kationen sowie die AK erhöhen. Insbesondere in diesen Punkten wurde ja Rankerbraunerde durch die Umlagerung wesentlich verbessert. Die jeweils gleichgerichteten, nur noch stärker veränderten mikrobiologischen Merkmale lassen andererseits erneut

die ausserordentlich empfindliche Abhängigkeit der Lebewelt vom Substrat erkennen.

Nun hatten ja ganz im Gegensatz zur Krume die mittleren Zonen insbesondere von Heidepodsol und Parabraunerde häufig geringere negative und die unteren Schichten sogar positive Reaktionen auf die Umlagerung gezeigt. Hierzu können mehrere Faktoren beigetragen haben. Einmal mag die mit der Umlagerung verbundene Gefügelockerung fördernd vor allem auf die mikrobiellen Vorgänge im Unterboden gewirkt haben. So hatten auch STRAUB und SCHOLZ-KÖNIG (1968) nach der Tiefenlockerung von drei staunassen Böden eine höhere Besatzdichte vor allem der obligat aeroben Bakterien und eine Steigerung der Atmungstätigkeit und des Celluloseabbaus gefunden. Möglicherweise erreichten auch die Wurzeln der angebauten Pflanzen in dem umgelagerten Boden eine grössere Tiefe und hinterliessen mehr organische Substanz. Ausserdem muss in dem gelockerten Boden mit einer raschen Tiefenverlagerung von organischer Substanz durch Bodentiere und auch durch physikalisch-chemische Vorgänge gerechnet werden. Tatsächlich war ja die organische Substanz im Heidepodel und in der Parabraunerde mit zunehmender Tiefe angestiegen (gegenüber dem gewachsenen Boden auf 173 bzw. 147 %). Andere chemische (z.B. AK, Ca + Mg) und mikrobiologische (z.B. Keimzahlen und Umsetzungen) Merkmale mit gleicher Tendenz dürften wieder mit dem C-Gehalt in Zusammenhang gestanden haben. Somit müssen bei den Unterbodenschichten vor allem von Heidepodsol und Parabraunerde die Veränderungen im C-Gehalt als entscheidend angesehen werden. Der C-Gehalt hatte sich bei Rankerbraunerde dagegen nur in der Parzelle o.St. und bei Pararendzina überhaupt nicht erhöht. Trotzdem waren in der Pararendzina die mikrobiologischen Werte auch angestiegen. Es handelt sich aber z.T. um einzelne Extremwerte (z.B. AzKZ), die das Gesamtbild stark beeinflusst haben. Da dieser Boden besonders günstige Bedingungen für Azotobacter enthält - wie die hohen Keimzahlen beweisen - haben möglicherweise allein die Folgen der Umlagerung auf den Luft- und Mineralstoffhaushalt des Bodens zu diesem Ergebnis beigetragen. Es ergibt sich aber die Frage, warum bei Pararendzina keine C-Anreicherung, sondern sogar ein C-Verlust eintrat, wenn, wie vermutet, auf den umgelagerten Parzellen die Pflanzen tiefergehende Wurzeln hatten (und somit mehr organische Substanz hinterliessen) und die organischen Stoffe der Krume einer leichteren Verlagerung

unterlagen. Es ist aber zu berücksichtigen, dass wegen der in diesem Boden sonst günstigen Voraussetzungen die Lockerung möglicherweise gleich wieder zu einem stärkeren Abbau auch in den unteren Schichten geführt hat. Für das gegenteilige Ergebnis bei Heidepodsol und Parabraunerde war möglicherweise der schon ohnehin geringere und durch die Umlagerung noch weiter gesunkene pH-Wert verantwortlich, da saure Bedingungen einerseits die Bildung und Verlagerung niedermolekularer Stoffe fördern, andererseits aber den Abbau hemmen. Die Tonarmut dieser Böden (im Gegensatz zu Rankerbraunerde und Pararendzina) hat Verlagerungsvorgänge wahrscheinlich noch erleichtert. Wenn nun die C-Anreicherung der Unterbodenschichten vorwiegend durch Verlagerungsvorgänge stattfand, so ist nicht auf die Dauer mit einer Verbesserung der Tiefgründigkeit durch die Umlagerung - oder vergleichsweise durch eine stark und tief lockernde Bodenbearbeitung - zu rechnen, da die Anreicherung niedermolekularer C-Verbindungen früher oder später anaerobe Vorgänge induzieren würde, die sowohl die Mikroorganismen als auch die höheren Pflanzen schädigen könnte. Die bis 1969 ausgewerteten Erträge zeigten allerdings, dass mit Ausnahme von Pararendzina auf den umgelagerten Böden durchweg keine geringeren, sondern sogar höhere Ernten erzielt wurden (Tab. 19). Beim Gefässversuch mit Wi-Raps war es aber umgekehrt. Das überraschte insbesondere bei Rankerbraunerde, weil die Krume gerade dieses Bodens (und nur die Krume wurde für den Gefässversuch herangezogen), durch die Umlagerung insgesamt gesehen positiv beeinflusst wurden. Hierfür kann keine Erklärung gegeben werden. Jedoch bei den feldmässig angebauten Pflanzen im Standort Erndtebrück selbst zeigte dieser Boden gegenüber "nicht umgelagert" die gleichmässigsten Ertragssteigerungen (Tab. 19). Aber Heidepodsol und Parabraunerde zeigten bei "umgelagert" teilweise auch höhere Ertragsleistungen, obwohl deren Krumeneigenschaften ungünstig beeinflusst wurden. Somit besteht die Wahrscheinlichkeit, dass vorwiegend physikalische Faktoren, d. h. also Lockerung und Durchlüftung sowie die damit zweifellos verbundene stärkere Erschliessung des Nährstoffpotentials vorwiegend der tieferen Zonen, die negativen Effekte auf die Krume kompensiert haben. Tatsächlich wurden nach späteren Untersuchungen des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Universität Giessen (1972) in allen Schichten der umgelagerten Böden ein höheres Redoxpotential, Luftvolumen (das Grobporenvolumen $> 10\%$ nahm zu, das der Mittelporen von 2 - 10% aber ab), eine bessere Luftdurchlässigkeit und ein geringerer Eindringwiderstand

der Druckmanometersonde gefunden. Auch VOIGTLÄNDER (1964) fand auf den umgelagerten (er spricht von geschütteten) Böden meist höhere Erträge als auf den gewachsenen. Ebenso wurden bei der Tiefenlockerung von Böden (GRASS 1969; SIDIRAS 1969) Ertragssteigerungen beobachtet. Die meisten Autoren führen diese Ergebnisse auf ein höheres nichtkapilläres Hohlraumvolumen zurück. Als Folge wurde von verschiedenen Autoren (vgl. u. a. WEAVER 1926; REUTHER 1939; ERICKSON 1946; KMOCH 1962) eine gleichmässigere und stärker verzweigte Wurzelbildung und ein schnelleres Pflanzenwachstum beobachtet. Russische Autoren (z. B. KUDRJAWZEWA, DOJARENKO, KWASNIKOW u. a., zit. KRAUSE 1931) konnten klare Beziehungen zwischen der Zunahme des nichtkapillaren Hohlraumvolumens, einer starken Steigerung der NO_3 -Bildung, dem Pflanzenwachstum und einer Verbesserung des Transpirationskoeffizienten ermitteln. Wenn nun beim Klimaversuch Pararendzina keine höheren Erträge auf "umgelagert" aufwies, so ist in Rechnung zu stellen, dass bei diesem Boden in allen drei Schichten ein starker Verlust an C_t und N_t festgestellt wurde, vermutlich gerade aufgrund der Lockerung. Möglicherweise hat diese Tatsache dem sonst günstigen Einfluss der Lockerung entgegengewirkt. Dieses Beispiel macht aber auch deutlich, dass je nach der Gesamtkonstellation der Faktoren in dem einen Falle eine Massnahme günstig, in dem anderen aber ungünstig wirken kann.

Es sei noch erwähnt, dass in dem Verhalten von gewachsenen und umgelagerten Böden während des Untersuchungszeitraums 1962 - 1968 keine prinzipiellen neuen Entwicklungen beobachtet wurden. Die festgestellten Unterschiede müssen also schon in den ersten 10 Jahren nach Beginn des Versuches eingetreten sein.

II. Teil: Verhalten der verlagerten Böden, der Erträge und der Stallungswirkung in Abhängigkeit vom Standort

Im ersten Teil wurden die Standorte, Klimate, Bodenarten, Behandlungen und Umlagerungseffekte dargelegt. Im folgenden II. Teil wird nun der Einfluss der Standorte behandelt. Hierbei werden des leichteren Vergleiches wegen nur die relativen Veränderungen der einzelnen Merkmale (im Vergleich zu den Merkmalen des nur umgelagerten Bodens) sowie die absoluten und relativen Standortmittelwerte (absolut = im Mittel der vier an jedem Standort liegenden Böden; relativ = im geometrischen Mittel der jeweils drei verlagerten Böden) wiedergegeben. In bezug auf die absoluten Einzelwerte sei auf die Tabellen des Anhangs verwiesen. Die Bezugswerte der verlagerten Böden sind ausserdem in den Tabellen des I. Teils enthalten. Im wesentlichen handelt es sich im Folgenden ebenfalls um Mittelwerte aus den einzelnen Jahresergebnissen.

A. Verhalten der Oberböden (0 - 20 cm)

1. Physikalische Merkmale (Tab. 22)

Vorweg kann festgestellt werden, dass der Wassergehalt aller verlagerten Böden in Völkenrode niedriger und in Lentförden höher lag als in den jeweiligen Originalstandorten. In Erndtebrück und Lilienhof dagegen waren feuchter nur noch jeweils die aus den trockeneren Standorten kommenden (Parabraunerde und Pararendzina in Erndtebrück, Parabraunerde in Lilienhof). Diese Unterschiede sind eindeutig auf die verschiedenen Feuchtigkeitsbedingungen der einzelnen Standorte zurückzuführen (vgl. Klima- und Standortbeschreibung im I. Teil). So bedeutete also die Verlagerung in denselben Standort für den einen Boden die Herstellung feuchterer, für den anderen aber gleichzeitig die Herstellung trockenerer Bedingungen.

Die maximale Wasserkapazität (max. WK) war in Völkenrode bei allen Böden etwas gesunken, in Lentförden und Erndtebrück aber meist etwas gestiegen. Eine Ausnahme bildete hier nur die Pararendzina (Bs und Bw). In Lilienhof dagegen hatte die WK nur der aus den feuchteren Standorten Lentförden und Erndtebrück (Sb und Wb)

stammenden Böden abgenommen, dagegen war sie bei Parabraunerde angestiegen. Zwischen max. WK und Standortwassergehalt bestand also eine direkte Beziehung. War die Feuchtigkeit in dem neuen Standort höher als in dem Originalstandort des verlagerten Bodens, wurde die WK erhöht und umgekehrt. In einigen Fällen (insbesondere Lentföhrden und Erndtebrück) war parallel zur höheren Bodenfeuchtigkeit und WK auch der C-Gehalt angestiegen (Tab. 25). Es ist daher wahrscheinlich, dass der Anstieg der WK einerseits auf dem höheren Humusgehalt und andererseits auf einer durch länger andauernde und stürkere Befeuchtung induzierten besseren Quellfähigkeit der Bodenkolloide beruhte. In diesem Zusammenhang interessiert auch der durchschnittliche Sättigungsgrad der Böden in den einzelnen Standorten. Hierzu sei zum Vergleich auf den durchschnittlichen Wassergehalt (Abb. 5, I. Teil) verwiesen. Unter Berücksichtigung der teilweise unter dem Einfluss der Standorte veränderten WK ergaben sich die nachstehenden Sättigungswerte (in % der max. WK und im Mittel aller Böden der betreffenden Standorte):

Lentföhrden (s)	Völkenrode (n)	Erndtebrück (w)	Lilienhof (b)
61,0	46,1	58,2	58,2

Im allgemeinen wird für die biologischen Umsetzungen im Boden eine Wassersättigung von 60 % WK als optimal angesehen. Sie war in s, w und b gegeben. In n lag sie demgegenüber weit unter dem Optimum. Mit den wenigen vorliegenden Werten im Wassergehalt der Böden kann natürlich nicht die tatsächliche durchschnittliche Feuchtigkeit der Standorte nachgewiesen werden. Sie zeigen lediglich den Feuchtigkeitsgehalt, wie er zur Zeit der Probenahme herrschte. Aber die Sättigungswerte sind andererseits ein Spiegelbild der dargelegten Klima- und Standortverhältnisse (vgl. I. Teil) und insofern doch repräsentativ. Beachtenswert sind auch die Veränderungen in den einzelnen Korngrößenfraktionen. Besonders stark erhöht hat sich in Erndtebrück und Lilienhof der Gehalt an Ton, in Lentföhrden und Völkenrode jedoch der Gehalt an Grobsand. Aber auch hier verhielten sich nicht alle Böden jeweils gleichmässig. Jedoch lässt sich erneut eine Gesetzmässigkeit: Nur die Fraktionen der feineren Böden wurden erhöht, die gegenüber dem Boden des neuen Standortes einen geringeren Gehalt aufwiesen. Es trat also eine Vergrößerung in Richtung der jeweiligen Eigenschaften der Standortböden

Tab. 22

Physikalische Merkmale einzelner Böden in 0-20 cm unter dem Einfluss verschiedener Standorte
(Originalstand=100; o.=ohne, m.=mit Stallung)

	Lentförhörden				Völkenrode				Erndtebrück				Lillienhof			
	Ns	Ws	Bs		Sn	Wn	Bn		Sw	Nw	Bw	Sb	Nb	Wb		
Wassergehalt (1962/65/66/67/68)	o. m.	125 133	105 106	109 110	80 79	85 86	91 93		101 99	127 121	111 109	98 96	133 128	96 95		
max. Wasser-Kapazität (1966)	o. m.	103 102	102 100	97 99	97 97	96 97	99 97		108 108	106 106	99 96	96 94	103 100	92 96		
Ton (<0,002mm) (1968)	o. m.	96 104	97 97	104 95	100 98	95 93	100 93		113 116	108 108	100 101	211 180	108 111	83 87		
Schluff (0,002- 0,06mm) (1968)	o. m.	101 99	99 98	99 100	106 109	101 99	98 100		111 116	96 105	100 99	108 109	100 104	113 109		
Feinsand (0,06-0,2mm) (1968)	o. m.	101 104	98 107	95 90	96 101	90 99	98 93		95 92	101 99	98 101	93 94	103 106	105 108		
Grobsand (0,2-2,0mm)	o. m.	100 98	112 110	159 200	99 97	115 117	200 227		97 96	104 91	124 113	92 93	96 88	66 71		
Krümel 1-2 mm	o. m.	358 214	111 108	133 164	96 104	81 86	49 76		100 140	223 261	113 141	95 83	304 281	104 84		
<0,25mm (1966)	o. m.	72 80	76 82	87 87	129 108	114 106	111 94		124 104	80 78	89 83	137 118	87 90	108 114		

des neuen Standortes ein. Dieses Ergebnis lässt darauf schliessen, dass eine gewisse Einmischung von Material des jeweiligen Standortbodens in die verlagerten Böden stattgefunden hat. Da die Parzellen nur etwa 10 cm tief durch Bretter von der Umgebung abgegrenzt sind, ist es möglich, dass Substanz aus den Randpartien der Standortböden durch wühlende Bodentiere eingearbeitet wurde.

Bei der Siebung der getrockneten Böden auf 2 mm fiel immer wieder eine unterschiedliche Krümelung nach der Herkunft der Böden auf. Daher wurde von Proben des Jahres 1966 eine Aufteilung der Fraktionen unter 2 mm in vier Gruppen mit einem mechanisch betriebenen Siebsatz (30 g Boden, Frequenz 120/min, 5 min Dauer) vorgenommen, wobei sich die stärksten standortbedingten Unterschiede in der grössten (2 - 1 mm) und der kleinsten (<0,25 mm) Fraktion ergaben. Dabei zeigten die feuchteren Standorte Lentföhrden und Erndtebrück meist eine Zunahme der grossen bei gleichzeitiger Abnahme der kleinen Krümelfraktion, während sich die trockeneren Standorte Völkenrode und Lilienhof genau umgekehrt verhielten. Jedoch auch hierbei liessen sich nicht alle Böden die gleiche Reaktion erkennen. Das Verhalten war wie bei der WK abhängig davon, ob der Ursprungsstandort feuchter oder trockener als der neue Standort war. Es sei betont, dass für diese Ergebnisse nicht der Wassergehalt der Böden 1966 ausschlaggebend gewesen sein kann, da zum Zeitpunkt dieser Untersuchung den höchsten Wassergehalt ausnahmsweise die Böden aus Lilienhof aufwiesen und Erndtebrück erst an dritter Stelle nach Lentföhrden stand. Somit kann es sich bei diesen Ergebnissen nur um einen Summeneffekt von Wirkungen gehandelt haben. Für die Zusammenballung der Bodenteilchen zu grösseren Aggregaten können mehrere Ursachen in Frage kommen: Höhere Quellfähigkeit der Kolloide, höhere Schleimproduktion der Mikroorganismen, elektrostatische Wechselwirkung zwischen Bodenteilchen und Sesquioxiden, höherer Humusgehalt. Eine gewisse positive Korrelation besteht in diesem Falle zum Gehalt an C_t und der Keimzahl der Cellulosezersetzer. Da organische Kolloide und die irreversible Austrocknung von Humatgelen (SPRINGER 1934; MEYER 1935, 1941), ferner pflanzliche Zerfallsprodukte und Zellreste abgestorbener Cellulosebakterien (KONONOVA 1951) der Aggregationseffekt fördern sollen, scheint ein Einfluss dieser Vorgänge auf die Ergebnisse nicht ausgeschlossen (vgl. Tab. 3,5,15).

Die aufgetretenen Veränderungen in den physikalischen Merkmalen korrelieren also einerseits mit den Feuchtigkeitsverhältnissen (WK, Aggregation) andererseits mit den Standortböden (Korngrössen).

2. Chemische Merkmale (Tab. 23. - 25)

Die Bezugswerte der chemischen Merkmale sind in den Tab. 5 und 6 des I. Teils enthalten. Bei den meisten chemischen Merkmalen sind ebenfalls starke Veränderungen unter den neuen Standortbedingungen aufgetreten. Sie waren teils abnehmend, teils zunehmend.

Eine in der Richtung relativ einheitliche Tendenz war nur bei den nach Lilienhof verlagerten Böden festzustellen. Hier nahm vor allem die Acidität ab und die AK zu. Auch die austauschbaren Kationen Ca + Mg und K sowie DL K und P zeigten einen z.T. kräftigen Anstieg bei Heidepodsol und Parabraunerde, dagegen nicht bei Rankerbraunerde. Demgegenüber liessen insbesondere die Standorte Lentförden und Erndtebrück (höchste Feuchtigkeit) meist eine zunehmende Acidität erkennen, die besonders stark in der Hy zum Ausdruck kam. Zunächst überraschte der starke Anstieg der pH-Werte aller Böden in Lilienhof bis auf über pH 7,0. Die Ursache konnte jedoch nach dem Durchsehen der Versuchsprotokolle geklärt werden. So waren insbesondere im Jahre 1959 die Parzellen in Lilienhof infolge eines starken Gewitterregens mit Oberflächenwasser des nahen Hanges überschwemmt worden, womit carbonathaltiges Material des umgebenden Bodens eingeschleppt wurde. Die Untersuchung der Böden auf Carbonate führte zu folgendem Ergebnis:

Tab. 23

CaCO₃ in % der Tr. M. (1968)

Bodentiefe cm		Pararendzina in verschiedenen Standorten				nach Lilienhof verlagerte Böden		
		Bs	Bn	Bw	Bb	Sb	Nb	Wb
0 - 20	o.	34,7	32,3	32,8	33,6	2,1	2,4	9,4
	m.	35,9	32,0	32,8	33,6	2,4	2,9	8,3
20 - 40	o.	37,0	34,9	33,1	35,2	1,5	2,3	4,8
	m.	34,6	33,1	36,4	33,3	1,2	1,9	3,2
40 - 60	o.	35,8	35,8	37,4	35,9	0,6	1,1	3,8
	m.	34,9	37,1	35,4	35,5	0,6	1,8	4,1

Tab. 24

Chemische Merkmale einzelner Böden in 0-20 cm unter den Einfluss verschiedener Standorte
(Originalstandort=100; o.=ohne; m.=mit Stalldung)

	Leitfähigkeiten				Völknerode				Erndtebrück				Lillienhof			
	Ns	Ws	Bs	Sn	Wn	Bn	Sw	Nw	Bw	Sb	Nb	Wb				
pH	98 o. m.	84 92	98 97	101 102	91 101	98 97	98 99	98 96	99 98	135 136	127 127	115 125				
Hy	116 o. m.	143 106	89 121	102 108	135 71	120 110	119 118	137 129	140 121	14 14	34 32	37 19				
DL P	67 o. m.	47 68	60 88	103 118	59 93	76 149	117 120	72 82	97 84	140 160	142 129	34 36				
DL K	102 o. m.	40 69	68 75	134 98	47 88	74 85	166 87	111 106	70 57	218 116	177 133	92 99				
austb.K	81 o. m.	39 63	70 81	161 111	52 98	92 114	179 104	100 86	79 77	197 87	133 86	93 81				
" Na	138 o. m.	271 251	++ ++	67 67	286 191	+ +	33 29	0 0	(0) (0)	19 24	0 0	114 123				
" Ca + Mg	102 o. m.	65 107	109 101	98 105	78 123	98 106	86 91	84 124	98 95	154 148	120 108	90 134				
AK	106 o. m.	86 101	116 111	102 99	85 101	105 111	97 105	100 95	105 102	141 137	116 111	103 113				
H-Wert	86 o. m.	184 111	100 160	106 100	147 82	120 140	136 115	100 103	140 140	26 23	23 39	31 20				
V-Wert	119 o. m.	70 94	101 98	98 100	81 113	99 99	86 95	100 103	98 98	128 143	183 153	118 156				

(0) = keine Bezugswerte im Originalstandort
und keine Zunahme im jetzigen Standort;

+ = schwache, ++ = starke Zunahme

Tab. 25

Chemische Merkmale einzelner Böden in 0-20 cm unter dem Einfluss verschiedener Standorte
(Originalstand=100; o.=ohne; m.=mit Stallung)

	Lentföhrden				Völkenrode				Erndtebrück				Lillenhof			
	Ns	Ws	Bs	Sn	Wn	Bn	Sw	Nw	Bw	Sb	Nb	Wb				
C _t	109	103	114	107	90	102	105	102	106	107	98	77				
	105	101	124	98	99	119	104	94	110	101	98	86				
N _t	110	104	108	100	95	103	102	106	112	100	111	80				
	103	99	111	100	94	109	102	99	105	100	101	85				
C/N	100	99	105	107	94	99	103	96	94	107	89	96				
	102	103	112	98	106	108	102	95	105	101	97	102				
Huminsäuren	128	121	149	87	94	113	90	118	114	100	128	92				
	127	103	130	99	93	115	99	109	101	103	103	84				
Fulvosäuren	96	100	64	104	105	71	94	113	102	108	90	94				
	87	108	103	97	122	76	106	87	83	130	68	109				
Rückstand	94	95	101	110	100	107	112	92	96	97	96	104				
	96	96	91	102	94	104	99	101	106	89	109	101				

Heidepodsol, Parabraunerde und Rankerbraunerde waren ursprünglich frei von Carbonaten. Nun betrug der Gehalt in Lilienhof in der Krume zwischen 2,4 - 9,4 %. Nach der Tiefe zu war eine stetige Abnahme festzustellen, so dass auch daraus auf die oberflächliche Carbonatzufuhr geschlossen werden kann. Die festgestellte Zunahme an Schluff und Ton bei den in Lilienhof liegenden Böden (Tab. 22) kann ebenfalls auf diese Einschlammung zurückgeführt werden. Die Einwaschung von Carbonaten, die einer unfreiwilligen massiven Düngergabe gleich kommt, erklärt zahlreiche andere Veränderungen der nach Lilienhof verlagerten Böden. Damit sind jedoch gleichzeitig evtl. Einflüsse des Klimas nicht mehr zu eliminieren. Andererseits zeigte Pararendzina in ihren neuen Standorten einen im wesentlichen unveränderten Gehalt an Carbonaten.

Der Anstieg der Acidität in Lentförden und Erndtebrück kann als eine Wirkung der stärkeren Durchfeuchtung und der niedrigeren Temperaturen betrachtet werden. Höhere Niederschläge bedeuten eine stärkere Auswaschung der Basen, geringere Temperaturen eine Verzögerung der mikrobiologischen Umsetzungen und damit die Entstehung **saurer** Zwischenprodukte. Bei allen Böden in Lentförden trat darüberhinaus eine deutliche Abnahme des DL-löslichen P und K sowie des austb. K ein. In Erndtebrück war diese Tendenz nicht so ausgeprägt und auch nur bei Parabraunerde und Pararendzina festzustellen, während Heidepodsol hier sogar Zunahmen aufwies. Andererseits zeigte insbesondere Rankerbraunerde, teilweise aber auch Pararendzina, in Völkenrode ebenfalls einen Rückgang des Gehalts an P und K, obwohl dieser Standort trockener ist als die Originalstandorte der genannten Böden. Nicht alle Ergebnisse lassen sich also direkt auf Klimafaktoren zurückführen.

In der Rankerbraunerde in Völkenrode und Lilienhof konnte ein gewisser Abbau an organischer Substanz (vgl. C_e und N_e) und eine Abnahme des Gehaltes an Huminsäuren, gleichzeitig aber eine Zunahme an Fulvosäuren festgestellt werden. Wenn, wie schon dargelegt, in der Rankerbraunerde in Lilienhof ein erheblicher Rückgang des Gehalts an P sowie in Völkenrode an P und K eingetreten ist, kann ein ursächlicher Zusammenhang dieser Vorgänge vermutet werden. Die durchschnittlich stärkste Zunahme an organischer Substanz zeigten die feuchteren und kühleren Standorte Erndtebrück und Lentförden, während in den

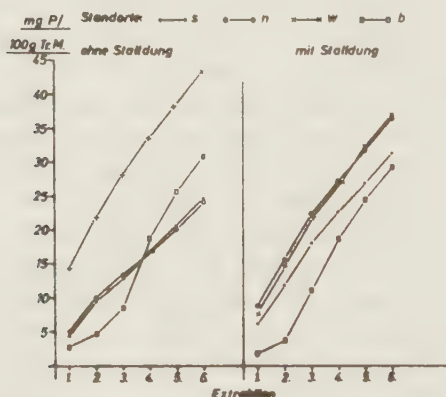
trockeneren und wärmeren Standorten Lilienhof und Völkenrode teilweise Abnahmen zu verzeichnen waren. Deutliche Veränderungen waren teilweise auch im Gehalt an Huminsäuren festzustellen. Eine meist erhebliche Zunahme wurde bei allen nach Lentfördrden verlagerten Böden gefunden. Gleichzeitig war der unlösliche Rückstand hier verringert. In den übrigen Standorten verhielten sich die Böden wieder unterschiedlich. Die AK zeigte bis auf Lilienhof eine gewisse Parallelität mit den Veränderungen im Gehalt der organischen Substanz. Das ist besonders deutlich an Pararendzina ablesbar, die von Süden nach Norden (über w - n - s) einen fast stetigen Anstieg an beiden Merkmalen erkennen liess. In dieser Tatsache kommt die Bedeutung der organischen Substanz als Sorptionsträger zum Ausdruck. Die einheitliche Zunahme der AK in Lilienhof ist demgegenüber wohl in erster Linie auf die Einwaschung von Carbonaten und damit auf eine qualitative Verbesserung der anorganischen und organischen Substanz zurückzuführen.

Besonders bemerkenswert ist das uneinheitliche Verhalten der Böden in Lilienhof hinsichtlich ihres Gehaltes an DL P und K. Heidepodsol und Parabraunerde hatten einen starken Anstieg (an P von 29 - 60 %, an K von 16 - 118 %), Rankerbraunerde dagegen einen starken Abfall (an P von 66, an K 8 %) gezeigt. Hierzu wurde bereits ein Zusammenhang mit der bei den einzelnen Böden in gleicher Richtung veränderten organischen Substanz angedeutet. Ausserdem ist jedoch zu beachten, dass Rankerbraunerde einen ca. 3 - 4 mal höheren Gehalt an Carbonaten aufnahm (Tab. 23), so dass mit einer verstärkten Festlegung von P gerechnet werden kann, zumal dieser Boden von Natur den geringsten Anteil an DL P aufwies (I. Teil, Tab. 5). Im allgemeinen überschneiden sich bei der Zufuhr von Kalk zu sauren Böden, die die Phosphorsäure überwiegend in organischer Bindung (Lecithin, Phytin, Nucleinsäuren u.ä.) enthalten, zwei Vorgänge: verstärkte Mineralisierung der organischen Phosphate einerseits und die Bildung von Ca-Phosphaten andererseits. Je mehr Ca-Ionen zugeführt werden, um so stärker wird das Gleichgewicht zugunsten der anorganischen Ca-Verbindungen verschoben. Die Aufklärung dieser Vorgänge ist vor allem v. WRANGELL und KOCH (1926), PARKER und PIERRE (1927), MEYER (1931), SAUERLANDT (1936) SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN (1964) zu danken. Nach MEYER (1931) kann aber ein höherer Gehalt an CO_2 im Extraktionswasser der Festlegung entgegenwirken. Da die Alkalisierung dieser in Lilienhof

liegenden Böden auch zu einem höheren Atmungsumsatz geführt hat (vgl. Tab. 26), könnte in gewissen Grenzen mit einer erhöhten Löslichkeit von P durch das bodenbürtige CO_2 gerechnet werden. Diese potentielle Möglichkeit kam aber zumindest bei der Rankerbraunerde nicht zum Tragen. Zur weiteren Aufklärung dieses Falles wurde nun Rankerbraunerde aller Standorte mehrmals extrahiert.

Abb. 8

DL Phosphor in Rankerbraunerde (W) verschiedener Standorte
nach 6 Extraktionen (Proben 1968)



Die Lösungskurven zeigen jedoch, dass die Werte des Bodens Wb gegenüber den anderen Standorten nicht grundsätzlich erhöht werden konnten. Somit konnte es sich auch kaum allein um eine Festlegung von Ca-Phosphaten handeln, weil diese mit der DL-Methode bevorzugt erfasst werden sollen (GUTSER und AMBERGER 1971). Fe- und Al-Phosphate scheiden von vornherein aus, weil sie mit steigendem pH (wie in Lilienhof) abnehmen (SCHACHTSCHABEL und HEINEMANN 1964).

Von den 4 Möglichkeiten der P-Festlegung (MUNK 1971) bliebe noch die Sorption an Tonmineralen und der Einbau in organische Komplexe. Eine erhöhte Sorption an Tonmineralen wird jedoch für ausgeschlossen gehalten, weil Rankerbraunerde ohnehin den höchsten (22,2 %) Ton-gehalt aufwies. Desgleichen kann auch eine biologische P-Festlegung kaum in Betracht kommen, weil die anderen beiden in Lilienhof liegenden Böden eine ähnlich gesteigerte mikrobielle Aktivität und dennoch höhere Mengen an DL P aufwiesen. Somit scheint sicher zu sein, dass die Abnahme des Phosphors in der Rankerbraunerde/Lilienhof auf den Humusverlust zurückgeht.

Der verminderte P-Gehalt in Lentförden (alle Bodenarten) und Erndtebrück (Parabraunerde und Pararendzina) muss dagegen andere Ursachen gehabt haben, denn die organische Substanz hatte hier leicht zugenommen. Als Ursache für diese beiden Standorte könnte daher wohl in erster Linie die etwas angestiegene Acidität angesehen werden. Eine Ausnahme macht dabei allerdings Heidepodsol in Erndtebrück insofern, als er trotz höherer Acidität eine Zunahme im P-Gehalt aufwies. Diese Beispiele lassen besonders deutlich die unterschiedliche Reaktion der Bodenarten auf die verschiedenen Standorte erkennen, wobei auf ursächliche Zusammenhänge nur sehr vage geschlossen werden kann.

Die Gehalte an austb. Na und K verhielten sich entgegengesetzt. In Lentförden war an K eine Abnahme von 19 - 61 %, an Na dagegen eine Zunahme von 38 - 171 % eingetreten. Mit Ausnahme von Rankerbraunerde/Lilienhof ist weiterhin generell eine Abnahme des Gehalts an austb. Na bei den von Norden nach Süden bzw. eine Zunahme bei den von Süden nach Norden verlagerten Böden in jeweils steigendem Masse festzustellen. Gleichzeitig wurden aber die Unterbodenschichten (vgl. Tab.30 und Abb.20) der südwärts verlagerten Böden zunehmend angereichert. Diese Tendenz war auch bei den Standortböden nachweisbar (I. Teil Tab. 8). Da die Hauptwindrichtung von der Nordsee kommt, wird eine Zufuhr von Na in Form von Aerosolen vermutet, die naturgemäss um so stärker ist, je näher die Böden der Küste liegen. Verschiedene Untersuchungen anderer Autoren stützen diese Vermutung. So fand ERIKSON (1966) in den USA mit zunehmender Distanz vom Ozean abnehmende Mengen an Na und Cl im Regenwasser. Bei einer Entfernung von 320 km z.B. sank die je ha und Jahr im Niederschlag gemessene Menge an Na von ursprünglich 100 auf 6 kg.

Ähnliche Relationen fanden RIEHM und QUELLMALZ (1959) mit zunehmender Entfernung von der Nordsee in Richtung Süden. In Braunschweig (ca. 450 km) waren noch 4 %, in Hohenpeissenberg (ca. 950 km, entspricht in der Entfernung etwa Lilienhof) nur noch 1,6 % der in Westerland ermittelten Menge nachweisbar. Im Gehalt an Ca, Mg und K wurden die gleichen Tendenzen festgestellt, entsprechend dem Gehalt des Meerwassers allerdings in wesentlich geringeren absoluten Mengen. Im Boden dürfte sich der Niederschlag dieser Elemente daher kaum analytisch nachweisen lassen, weil ihre Menge im Boden sehr viel höher liegt. Der Weg des Na war beim Klimaversuch gesichert bis nach Völkenrode nachweisbar. Dass im Gegensatz zu dieser Nord-Süd-Tendenz Rankerbraunerde/Lilienhof einen 14 - 23 % höheren Na-Gehalt aufwies als Rankerbraunerde/Erndtebrück, beruhte wahrscheinlich auf einer erhöhten Na-Freisetzung durch den Eintausch mit den eingeschwemmten Ca-Ionen; denn dieser entwicklungsgeschichtlich noch junge Boden enthält schon von Natur aus mehr Natrium (vgl. I. Teil, Tab. 8).

Abgesehen vom Gehalt an austb. Na, der eine direkte Wirkung der Hauptwindrichtung von der See zu sein scheint, sind mit Ausnahme von Lilienhof (Carbonateinschwemmung) die Ursachen der Veränderungen der chemisch nachweisbaren Merkmale der Böden offenbar nicht so durchsichtig wie die der physikalischen. Hierauf wird nach der Besprechung aller Ergebnisse näher eingegangen werden.

3. Mikrobiologische Merkmale (Tab. 26 und 27)

Die Bezugswerte dieser Relativzahlen sind in den Tabellen 10 und 11 des I. Teils enthalten.

Die Relativzahlen, die die prozentualen Veränderungen der Merkmale der jeweils drei in einen Standort verlagerten Böden zeigen, lassen erkennen, dass fast alle Merkmale in Lilienhof stark positiv, in Lentförden und Völkenrode meist negativ und in Erndtebrück etwas mehr positiv als negativ beeinflusst wurden. Die stärksten positiven Ausschläge in Lilienhof haben gezeigt: $CeKz > AzKz > DHA$, aber auch die BKZ, die Atmungs- und die Nitrifikationsintensität wurden hier gefördert. Gesenkt wurden in Lilienhof nur die Zahlen der Pilze und die NH_4 -Gehalte. In den feuchteren Standorten dagegen (Lentförden und Erndtebrück, in denen auch die Acidität, insbesondere die hydrolytische Acidität, angestiegen war), wurde der NH_4 -Gehalt

meistens erhöht. Damit wird erneut die typische Wirkung zunehmender Acidität auf einige mikrobiologische Merkmale bestätigt. Ähnliche Beispiele konnten schon bei der Charakterisierung der Bodentypen (I. Teil) konstatiert werden. Die günstige Wirkung der im Standort Lilienhof in die Böden eingeschwenkten Carbonate ist also auch bei den biologischen Komponenten sichtbar. Im Vergleich zu den chemischen Veränderungen waren die biologischen sogar meist noch sehr viel stärker. Dass das verhältnismässig günstige Klima dieses Standortes zusätzlich fördernd gewirkt hat, ist wahrscheinlich. Sein Anteil lässt sich aber von dem Einfluss der Carbonate nicht trennen.

Während unter gleichem Klima mit dem Anstieg der Acidität (Umlagerung von Heidepodsol und Parabraunerde) Pilze und NH_4 meist parallel zunahmen bzw. mit dem Rückgang der Acidität (Umlagerung der Rankerbraunerde) parallel abnahmen (s. I. Teil), zeigte sich bei den verlagerten Böden diese Parallelität nicht so eindeutig. Auf die Pilze hat sich nämlich bis auf eine Ausnahme (Rankerbraunerde) Völkenrode besonders günstig ausgewirkt. Auch der Originalboden dieses Standortes (Parabraunerde) enthielt die höchste bzw. zweithöchste (neben Rankerbraunerde) Pilz-Keimzahl. Da die nach Völkenrode verlagerten Böden Zunahmen zeigten, Parabraunerde in anderen Standorten aber z.T. sehr starke Abnahmen aufwies, ist anzunehmen, dass das in Völkenrode herrschende relativ trockene und warme Klima, das die Pilze gegenüber anderen Gruppen begünstigt, den Ausschlag gab. Dazu passt, dass die ebenfalls trockenheitsverträglichen Streptomyceten (JAGNOW 1956) bis auf Pararendzina hier ebenfalls gefördert (+30 bis +93 %), die mehr wasserbedürftigen Bakterien bzw. bakteriellen Cellulosezer-setzer, ferner die Azotobacter und die Umsetzungen (DHA, C- und N-Mineralisierung) teils erheblich gehemmt wurden. Das bessere Durchsetzungsvermögen der Pilze und Streptomyceten in trockenen Standorten beruht wahrscheinlich auf einer höheren Osmotoleranz (STAPP 1953), die wegen der durchschnittlich unteroptimalen Wassersättigung in Völkenrode (vgl. S. 74) wahrscheinlich zeitweilig beansprucht wurde.

Erndtebrück hat sich auf Heidepodsol und Parabraunerde häufig fördernd (insbesondere P1KZ , CeKZ , CO_2 , O_2 , DHA), auf Pararendzina (B_w) aber mit Ausnahme der N-Mineralisierung (insbesondere NO_3^-

Tab. 26

Mikrobiologische Merkmale verschiedener Böden in 0 - 20 cm unter dem Einfluss verschiedener Standorte

(Originalstandort=LO; o.=ohne, m.=mit Stalldung)

	Leutfohrden				Völknerode				Erndtebrück				Lilienhof			
	Ns	Ws	Bs		Sn	Wn	Bn		Sw	NW	Bw		Sb	Nb	Wb	
Azotobacter	o. 28 m. 233	0,3 1	48 49		- -	25 26	66 67		+ +	36 404	57 71		++ ++	944 1364	241 465	
Bakterien	o. 135 m. 103	49 85	88 136		94 83	63 103	82 74		82 65	71 83	77 80		198 181	199 190	127 217	
Cellulosezer- setzer	o. 37 m. 911	93 146	159 267		19 22	4 77	75 73		139 18	86 933	63 28		2875 1111	743 3841	234 416	
Pilze	o. 39 m. 33	76 68	63 87		598 178	112 88	157 142		413 113	93 80	79 94		258 87	80 50	72 49	
Streptomyceten	o. 59 m. 67	64 111	53 107		130 151	160 193	65 41		101 97	67 74	70 49		138 104	164 81	90 227	
CO ₂	o. 94 m. 104	78 89	92 95		83 101	66 85	83 80		112 122	113 115	99 90		200 222	140 148	119 138	
O ₂	o. 108 m. 103	88 99	83 98		79 91	75 87	78 84		112 119	113 126	101 91		130 135	147 144	100 141	
Dehydrogenaseak- tivität	o. 105 m. 99	62 86	63 59		117 120	69 80	60 62		148 123	124 125	92 67		529 520	248 220	141 100	

(-)=nicht, (+)=schwach, (++)=stärker vertreten, im Originalstandort Leutfohrden nicht vorhanden

Tab. 27

Mikrobiologische Merkmale verschiedener Böden in 0-20 cm unter dem Einfluss verschiedener Standorte

(Originalstandort = 100; o. = ohne, m. = mit Stalldung)

	Lehtföhrden			Völkenrode			Erndtebrück			Lilienhof		
	Ns	ws	Bs	Sn	Wn	Bn	Sw	Nw	Bw	Sb	Nb	Wb
NH ₄ -N/lufttrocken	83	114	107	65	84	115	58	158	124	36	62	46
" / 9. Tag	97	172	105	50	125	86	70	87	84	22	54	71
" / 27. Tag	107	192	72	53	119	101	69	113	82	9	57	35
" / 27. Tag	123	92	262	50	83	203	70	141	211	6	38	23
" / 27. Tag	42	-	679	0	0	96	0	75	143	0	145	0
" / 27. Tag	29	119	71	0	0	69	0	316	57	0	144	0
NO ₃ -N/lufttrocken	119	61	152	77	91	154	103	114	114	84	91	54
" / 9. Tag	116	81	181	82	111	158	98	101	139	57	106	52
" / 9. Tag	90	48	112	109	85	100	126	90	114	259	178	118
" / 9. Tag	92	85	124	82	114	108	97	72	111	163	156	150
" / 27. Tag	90	63	94	82	91	94	99	97	119	93	113	89
" / 27. Tag	96	89	113	79	124	97	98	97	96	80	130	88

Bildung) hemmend ausgewirkt, obwohl Pararendzina einen stärkeren Anstieg im Gehalt an organischer Substanz ($\varnothing$ 8 % C_t , s. Tab. 25). aufwies. Heidepodsol und Parabraunerde zeigten andererseits hier eine etwas bessere Löslichkeit des Phosphors und Kaliums. In diesen Fällen liegen also wieder Beispiele vor, wo die Böden bzw. Merkmale ausgesprochen verschieden auf die neuen Standortbedingungen reagiert haben. Die BKZ wurde in Erndtebrück aber bei jedem Boden gesenkt.

Etwas differenzierter war das Verhalten von Azotobacter. Bei Pararendzina wurde seine Zahl stark gesenkt auf (71 - 57 %), bei Parabraunerde aber nur im Teil o.St. (auf 46 %). Interessanterweise trat Azotobacter im Heidepodsol/Erndtebrück sporadisch auf, während er im Originalstandort (Lentförden) und auch in Völkenrode bei Heidepodsol niemals gefunden wurde. Eine Verunreinigung war dafür sicherlich nicht allein verantwortlich, denn diese wäre bei der noch höheren AzKZ der Parabraunerde ebenso in Völkenrode möglich gewesen. Andererseits war die AzKZ der Pararendzina bis auf 57 % abgefallen. So bedeutete die Verlagerung von Heidepodsol und Parabraunerde nach Erndtebrück eine Förderung, die Verlagerung der Pararendzina nach Erndtebrück aber eindeutig eine Hemmung der AzKZ. Ähnliche Relationen wurden noch bei einigen chemischen (Tab. 24 und weiteren biologischen (Tab. 26) Merkmalen (CO_2 , O_2 , DHA) gefunden. Dem Luftklima nach ist nun Erndtebrück als wesentlich ungünstiger einzustufen als Völkenrode und Lentförden und trotzdem war die AzKZ auch in Völkenrode auf 66 - 25 %, in Lentförden sogar auf unter 1 bis 49 % zurückgegangen. Den stärksten Verlust zeigte jedesmal Rankerbraunerde. Dieser Boden hatte sich aber auch chemisch (insbesondere in Lentförden, vgl. Tab. 22 und 23) am stärksten negativ verändert, so dass vor allem im Falle von Azotobacter wieder ein sehr deutlicher Zusammenhang zwischen chemischen und biologischen Faktoren gegeben ist.

Eine besondere Ausnahmesituation liess Parabraunerde m.St. erkennen, wo Azotobacter entgegen der sonstigen Regel auch in Lentförden und Erndtebrück einen positiven Ausschlag zeigte und die Förderung in Lilienhof besonders stark war. Aber am Originalstandort Völkenrode hatte das Teilstück m. St. eine wesentlich geringere AzKZ gezeigt (Tab. 10) als das Teilstück ohne Stallung.

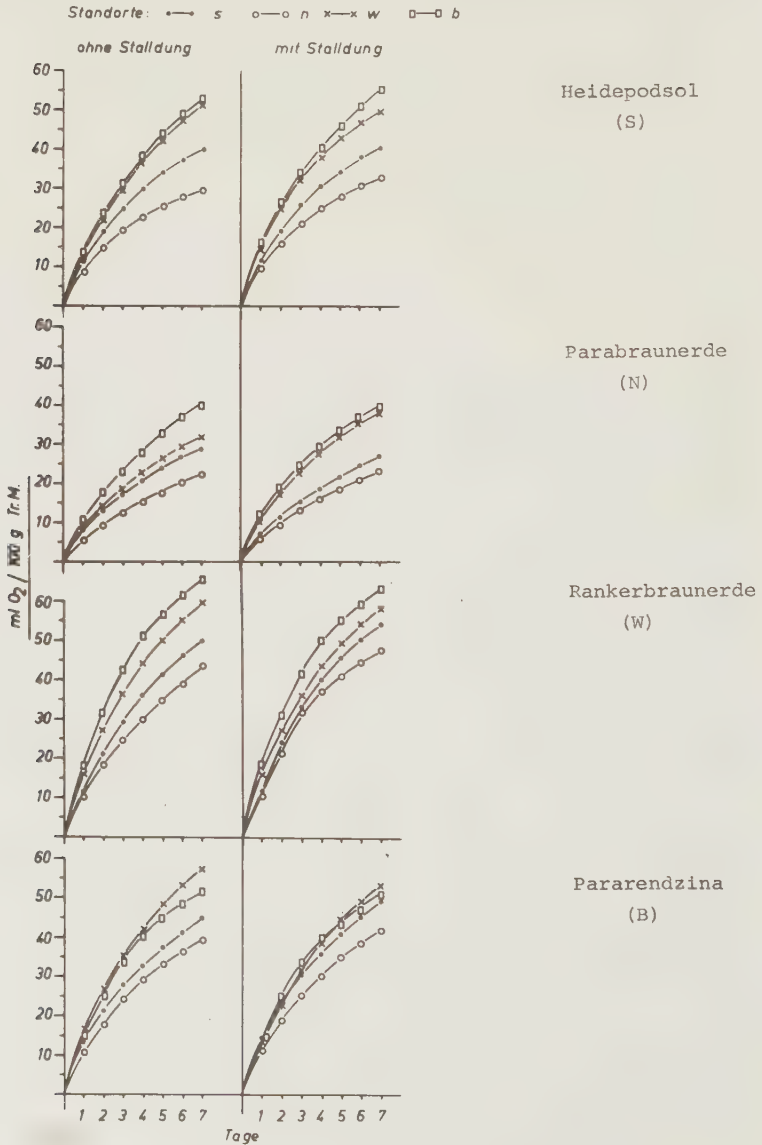
Da dieser Unterschied bei fast jeder Untersuchung auftrat, muss hierin eine Gesetzmässigkeit gesehen werden. Demnach hat Stallung im Falle von Azotobacter nur auf die umgelagerte Parabraunerde und zwar nur in Völkenrode (Nn) negativ gewirkt, so dass die Stallungsseite der übrigen Standorte wohl insbesondere deshalb stark positiv herausragte. (Dieser Fall ist als eine Besonderheit zu werten und ist mit dem Standort wohl nur über die Stallungswirkung in Verbindung zu bringen. Auf standortabhängige Besonderheiten der Stallungswirkung wird in Abschn. G. näher eingegangen.) Unter den übrigen Merkmalen zeigte noch ein gewisses paralleles Verhalten die CeKZ. Demgegenüber aber wiesen die chemischen Merkmale auf keine negative Wirkung des Stallungs in Völkenrode hin.

Lentförden hat sich bis auf den erwähnten Ausnahmefall bei Azotobacter (Parabraunerde m.St.) einheitlich hemmend nur auf Azotobacter und Pilze ausgewirkt. In allen anderen Fällen ist das Bild uneinheitlich. In der Mehrzahl wurden Cellulosezersetzer und NH_4 -Bildung gefördert. Von den nach hier verlagerten Bodenarten zeigten Parabraunerde und Pararendzina mehr Fälle mit Förderung als Rankerbraunerde. Bei Rankerbraunerde wurden vor allem NO_3 -Bildung, DHA, Atmung, Bakterien und (wie schon erwähnt) insbesondere Azotobacter gehemmt.

Es überrascht, dass die Bodenarten in ein und demselben Standort in z. T. entgegengesetzter Weise beeinflusst wurden. So zeigten in Lentförden Rankerbraunerde und Pararendzina eine Verringerung, Parabraunerde aber eine Erhöhung des O_2 -Verbrauchs. Wie die folgende Wiedergabe der Summenkurve aus dem täglichen O_2 -Verbrauch zeigt (Abb. 9), scheint jedoch darin eine Gesetzmässigkeit zu liegen; denn bis auf eine geringfügige Ausnahme (Bw) traten die Böden immer nach der gleichen Standort-Rangfolge auf: Lilienhof > Erndtebrück > Lentförden > Völkenrode. (Wäre der O_2 -Verbrauch in Lentförden von Parabraunerde nicht gestiegen und von Rankerbraunerde und Pararendzina nicht gesunken, hätte sich jedesmal eine andere Rangfolge ergeben.) Eine übereinstimmende Rangfolge der einzelnen Böden nach Standorten konnte bei einer Reihe von Merkmalen gefunden werden. Auf diese Eigentümlichkeit wird jedoch später noch genauer einzugehen sein.

Abb. 9

Verlauf der O_2 -Aufnahme von vier Böden aus je vier Standorten
(Proben 1966)



Obwohl die Tendenzen in der CO_2 -Bildung und im O_2 -Verbrauch gleich waren, gab es in Lilienhof graduelle Unterschiede insbesondere bei Heidepodsol und Rankerbraunerde. Die CO_2 -Bildung wurde relativ sehr viel stärker angehoben als die O_2 -Aufnahme (s.Tab. 26). Ein Vergleich der RQ-Werte, die hier nur je Standort angegeben sind (im Mittel der jeweiligen 4 Böden), klärt die Ursache auf:

Lentförden	Völkenrode	Erndtebrück	Lilienhof
0,95	0,93	0,93	1,09

Bei nur biotisch verlaufenden Atmungsvorgängen bewegt sich der RQ-Wert ($\text{ml CO}_2/\text{ml O}_2$) zwischen 0,9-1,0. Bei über 1,0 liegenden Werten wie in Lilienhof muss mit einer abiotischen CO_2 -Abspaltung gerechnet werden. Nach BECKMANN und SCHARPENSEEL (1964), SCHARPENSEEL und BECKMANN (1964), KAPPEN et al. (1949), HOFMANN et al. (1962) u.a. kann bei Böden sowohl mit einer sauren als auch mit einer alkalischen abiotischen Decarboxylierung gerechnet werden. Auch bei eigenen experimentellen Untersuchungen (AHRENS und THALMANN 1970) mit den im Klimaversuch verwendeten Böden konnte der Nachweis erbracht werden, dass eine Zufuhr von CaCO_3 eine erhebliche abiotische CO_2 -Abspaltung zur Folge hatte. Sie war um so höher, je mehr organische Substanz der Boden enthielt. Da von den in Lilienhof liegenden Böden Carbonate aufgenommen wurden, ist erklärlich, dass in erster Linie die Böden mit dem höchsten Humusgehalt (Heidepodsol und Rankerbraunerde) mehr Vol.- CO_2 abgaben als Vol.- O_2 aufnahmen.

In der Methodik (I. Teil) wurde darauf hingewiesen, dass die Untersuchungen in verschiedenen Jahren wiederholt wurden. Jedoch konnten wegen der grossen Zahl der Proben nicht alle Analysen jedes Jahr durchgeführt werden. Ausserdem wurden die Proben von 1966 zunächst naturfeucht, dann luftgetrocknet und schliesslich wiederbefeuchtet (52 % max. WK) untersucht, um die Reaktion auf die Gleichschaltung der äusseren Bedingungen (Temperatur und Feuchtigkeit) zu ermitteln. Eine Auswahl dieser Ergebnisse ist in den Abb. 10 - 13 wiedergegeben. Um den Überblick zu erleichtern, wurde hierbei nicht mehr von den Werten der einzelnen Böden, sondern von den Mittelwerten je Standort (im Mittel der jeweiligen vier Böden mit und ohne Stalldung) ausgegangen. Da in allen vier Standorten die gleichen Böden liegen, hätten bei unveränderten Eigenschaften die Mittelwerte der einzelnen Standorte übereinstimmen

Abb. 10 - 13

Verhalten einiger mikrobiologischer Merkmale in verschiedenen Jahren je Standort im Mittel von vier Böden und beiden Teilstücken

Abb. 10

Azotobacter

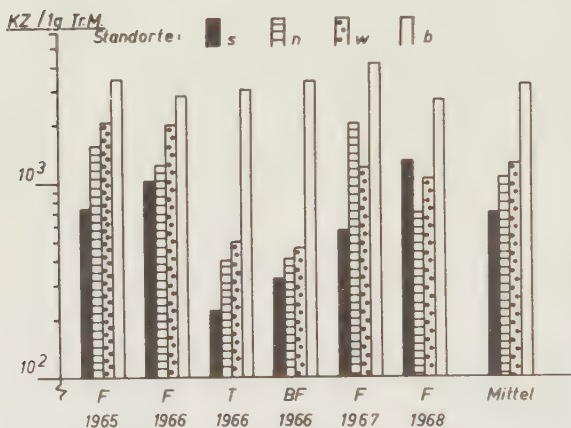


Abb. 11

Cellulosezersetzer

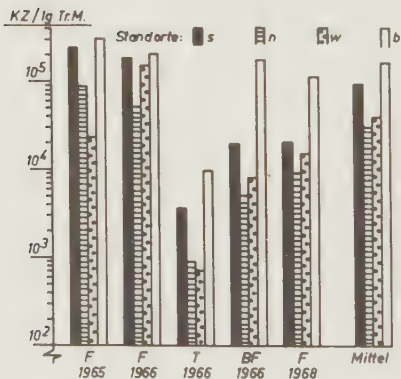


Abb. 12

Pilze

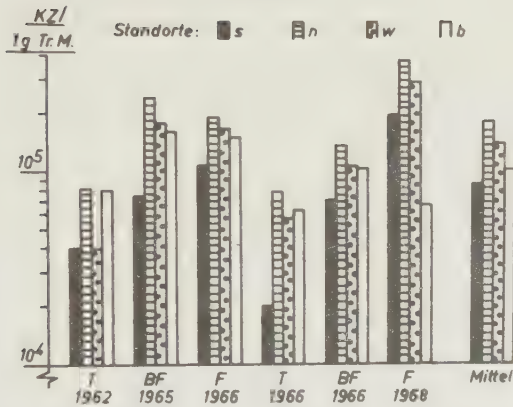
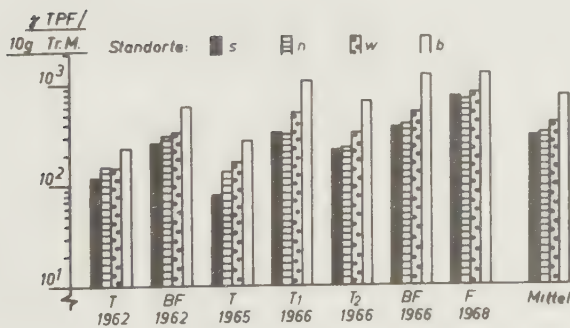


Abb. 13

Dehydrogenaseaktivität



T = lufttrockener Boden
 T₁ = nach 90 Tagen Trocknung
 T₂ = nach 390 " "
 BF = wiederbefeuchteter Boden
 F = naturfeuchter

DHA:

Proben von 1962 im Okt. 1967 unter-
 sucht
 Proben von 1965 im Jan. 1968 unter-
 sucht

müssen. Abweichungen müssen daher auf Veränderungen zurückgeführt werden, die durch den Einfluss des Standorts bedingt sind.

Die Azotobacter-Keimzahl zeigte mit Ausnahme von zwei Jahren (1967 und 1968) stets die Reihenfolge

Lentförhden < Völkenrode < Erndtebrück < Lilienhof.

Bis auf 1968 stand Lentförhden stets an letzter, Lilienhof aber stand immer an erster Stelle.

Bei den Keimzahlen der Cellulosezerersetzer ergab sich teilweise eine andere Rangfolge. Zwar stand auch in diesem Falle Lilienhof immer an erster, aber Lentförhden stand nun stets an zweiter Stelle, während Erndtebrück und Völkenrode untereinander keine klare Tendenz erkennen liessen. Auf die CeKZ hat sich also Lentförhden insgesamt gesehen und im Gegensatz zur AzKZ eher günstig ausgewirkt. In den Keimzahlen der Pilze stand in allen Fällen Völkenrode an erster und Lentförhden meist an letzter Stelle. Diese Darlegungen bestätigen also erneut, dass sich Pilze und Cellulosezerersetzer hinsichtlich der Standorte Lentförhden und Völkenrode entgegengesetzt verhielten. Die Dehydrogenaseaktivität zeigte die gleiche Rangfolge der Standorte wie Azotobacter: $s < n < w < b$. THALMANN (1967), der die gleichen Proben untersucht hat, aber nur in naturfeuchtem Zustand, fand im Jahre 1967 die gleichen Tendenzen. Nur 1966 lag Völkenrode geringfügig unter Lentförhden. Aber diese beiden Standorte unterschieden sich ohnehin nur unbedeutend.

Aus der Gegenüberstellung verschiedener Jahre und verschiedener Feuchtigkeitsverhältnisse ist zweierlei festzustellen:

1. Die lufttrockenen Proben zeigten im allgemeinen geringere Keimzahlen bzw. Aktivitäten (Ausnahmen bilden allgemeine Bakterien und Azotobacter des Standortes Lilienhof) als die feuchten bzw. nach der Wiederbefeuchtung der Proben von 1966 setzte ein Wiederanstieg ein;
2. Die Rangfolgen der Standorte blieben unabhängig von dem Zeitpunkt und der Bodenfeuchtigkeit meist die gleichen.

Punkt 2 besagt danach, dass für die Ergebnisse nicht spezifische Klimabedingungen zur Zeit der Probenahme, sondern nachhaltig wirkende Bodenfaktoren verantwortlich gewesen sein müssen. Das gilt im Prinzip auch für alle übrigen hier nicht graphisch dargestellten Ergebnisse. Dieser Befund wird für ausserordentlich wichtig gehalten, da dadurch sichergestellt ist, dass der Zeitpunkt der Untersuchung nur einen graduellen Einfluss ausübte und dass der

mikrobiologische Status der Böden unabhängig von den aktuellen Bedingungen offensichtlich schon ein neues "Standort-Gleichgewicht" eingenommen hatte.

Der Einfluss von Trocknung und Wiederbefeuchtung war nach Standort und Keimart verschieden. Vielfach zeigte sich folgende Tendenz (s. Tab. 28): Je niedriger die Keimzahlen von Anfang an lagen bzw. je ungünstiger sich der Standort ausgewirkt hatte, um so stärker war die Schädigung durch die Trocknung und auf einem um so niedrigeren Stand blieb die Keimzahl nach der Wiederbefeuchtung stehen. Andererseits folgte auf die stärkste Abnahme durch die Trocknung häufig die grösste Vermehrungsrate. Das ist dadurch zu erklären, dass bei niedrigen Ausgangskeimzahlen im lufttrockenen Boden zunächst mehr Nährstoffe zur Verfügung standen. Eine entschiedene Ausnahme hiervon machten aber die Cellulosezerersetzer, die bei schwächster Schädigung in Böden aus Lilienhof die grösste Vermehrungsrate aufwiesen. In diesem Falle ist jedoch in Rechnung zu stellen, dass die Cellulosezerersetzer viel stärker durch die Trocknung geschädigt wurden (Abnahme auf 4,7 - 0,5 %) als alle anderen Keimarten und dass die Unterschiede zwischen den Standorten dadurch niveliert wurden. So konnten sich vermutlich die verbesserten Eigenschaften der Böden aus Lilienhof auch in der Vermehrungsrate bemerkbar machen. Die besonders starke Schädigung der CcKZ durch die Trocknung (danach folgten unter Ausklammerung von Lilienhof im Mittel Azotobacter > Pilze > Bakterien) ist dadurch zu erklären, dass nur ein Teil der aerob-mesophilen Arten Sporen bildet und Dauerformen wie bei Azotobacter (Cysten) nicht bekannt sind.

Nun wurden die Bakterien und die Azotobacter in Böden aus Lilienhof im Durchschnitt überhaupt nicht durch die Trocknung vermindert. Da diese Böden den besseren chemischen Zustand aufwiesen, ist anzunehmen, dass durch ihn nicht nur die Keimzahlhöhe, sondern auch die Fähigkeit zum Überstehen einer Streßsituation positiv beeinflusst wurde. Andere Untersuchungen weisen in die gleiche Richtung (vgl. DOMMERHUES 1964; JAGNOW 1967; AHRENS und v. KLOPOTEK 1970). Es ist daher anzunehmen, dass optimal versorgte Organismen reaktionsfähiger sind und deshalb beim Eintritt einer ungünstigen Situation auch rascher Dauerformen bilden als jene, denen optimale Lebensbedingungen fehlen.

Bei den Pilzen hat die Trocknung offenbar nicht zu einer verstärkten Sporulierung und damit zu scheinbar höheren Keimzahlen geführt.

Tab. 28

Einfluss von Trocknung und Wiederbefeuchtung in Abhängigkeit vom Standort im Mittel von je 4 Böden und m. und o. Stallung

(Proben 1966)

Keimarten	Standort	K e i m z a h l e n				
		naturfeucht		luft-trocken	wiederbe-feuchtet	Vermehrungs-rate
		absolut (g Tr.M.)	relativ	relativ	relativ	
Bakterien	s	21,5 Mill.	100	31	125	3,0
	n	13,9 "	100	69	157	1,3
	w	11,2 "	100	89	286	2,2
	b	26,3 "	100	102	193	0,9
Cellulose-zersetzer	s	0,18 "	100	2,0	10,4	4,2
	n	0,05 "	100	1,7	9,5	4,6
	w	1,11 "	100	0,5	5,2	9,4
	b	0,20 "	100	4,7	85,5	17,2
Pilze	s	0,12 "	100	17	61	2,6
	n	0,19 "	100	41	71	0,7
	w	0,17 "	100	32	69	1,2
	b	0,15 "	100	41	73	0,12
Azoto-bacter	s	1042	100	22	31	0,4
	n	1234	100	33	33	0,0
	w	2004	100	25	30	0,12
	b	2801	100	111	119	0,11

Andererseits wurde auch eine Vermehrung nach der Wiederbefeuchtung festgestellt. Ab- und Zunahmen in der Pilzkeimzahl verliefen also nach der gleichen Gesetzmässigkeit wie z.B. bei den allgemeinen Bakterien. Diese Beobachtung steht aber der oft vertretenen Ansicht entgegen, dass Pilze auf Austrocknung mit starker Versporung und damit steigenden Keimzahlen reagieren und dass daher die konventionelle kulturelle Keimzählmethode für Pilze nicht geeignet sei (vgl. JONES and MOLLISON 1948, GAMS and PARKINSON 1960, NAGEL-DE BOOIS and JANSEN 1967). Die Übereinstimmung in der aufgezeigten Gesetzmässigkeit zwischen Schädigungsrate und Keimzahlhöhe auch bei Pilzen erhöht daher die Wahrscheinlichkeit, dass die festgestellten hohen PiKZ in Völkenrode nicht auf einer vermehrten Sporenbildung, sondern auf besonders günstigen Bedingungen für die aktiven Stadien (Hyphen) beruhen.

Unter dem Gesichtspunkt verschiedener Jahre und der Aktivierung der Böden durch Wiederbefeuchtung sei im Folgenden auch noch auf die N-Mineralisierung (im Brutversuch bei 52 % WK und 25°C) hingewiesen. Die Werte sind in den Abb.14 bis 16 enthalten. Sie zeigen einmal, dass im Jahre 1962 wesentlich mehr Mineral-N gefunden wurde als 1966. Der Grund ist wahrscheinlich in dem Zeitpunkt der Probenahme zu suchen, denn sie fand 1962 im Juni und 1966 im August statt. Der Zeitpunkt 1962 lag also näher an der Frühjahrsdüngung und der Pflanzenbestand (in beiden Jahren Kartoffeln) war noch nicht voll entwickelt, hatte daher auch weniger Stickstoff aufgenommen. Bezüglich der Standort-Relationen war eine Einheitlichkeit beider Jahre aber nur im $\text{NH}_4\text{-N}$ (Abb.14) dergestalt gegeben, dass Lentförden stets den höchsten, Erndtebrück meist den zweithöchsten und Lilienhof nach Völkenrode den geringsten Gehalt aufwies. Der $\text{NH}_4\text{-Gehalt}$ korrelierte also positiv mit dem feuchteren und kühleren Klima und der höheren Acidität, insbesondere der hydrolytischen Acidität. Dieses Ergebnis bestätigt die Befunde früherer Autoren (vgl. MITSCHERLICH und SAUERLANDT 1935, SAUERLANDT 1936, WAKSMAN 1952). Nach den gleichen Erfahrungen hätten höhere Gehalte an NO_3 nun aber insbesondere in Lilienhof (Anstieg der pH-Werte, s. Tab. 24) erwartet werden müssen. Das war jedoch nicht immer der Fall und im übrigen war das Plus in Lilienhof verhältnismässig gering. Vergleicht man damit noch den Gesamt-Mineralstickstoff ($\text{NH}_4 + \text{NO}_3\text{-N}$) in Abb. 16, dann zeigt Lilienhof sogar ein erhebliches Defizit, Lentförden andererseits einen erheblichen Vorsprung.

Abb. 14

NH₄-Gehalt je Standort im Mittel von 4 Böden

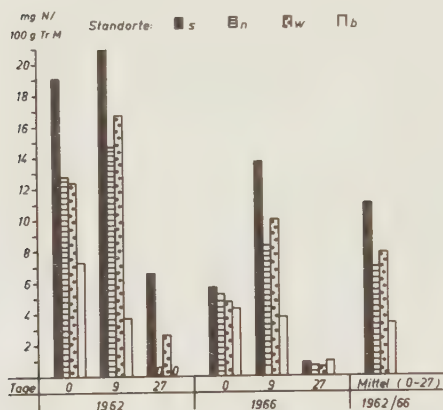
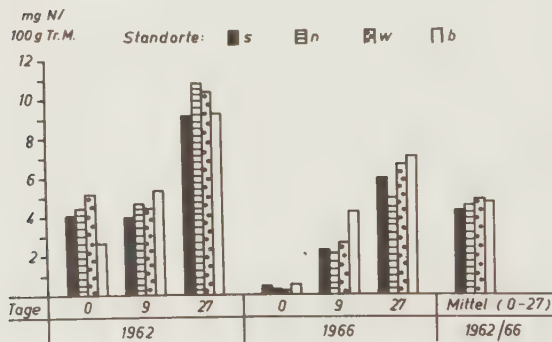


Abb. 15

NO₃-Gehalt je Standort im Mittel von 4 Böden



Da die Ausgangswerte im lufttrockenen Boden verschieden hoch lagen, NH_4 wegen der Oxydation zu NO_3 mit der Zeit rückläufig wurde, sind die Zuwachsraten an NO_3 zu prüfen, die nachfolgend wiedergegeben werden (im Schnitt der beiden Jahre und m. St. und o. St. in mg N/100 g Tr. M.):

	Lentfördrden	Völkenrode	Erndtebrück	Lilienhof
0 - 9. Tag	0,93	1,05	1,26	3,19
9.-27. Tag	2,23	2,25	2,40	1,57

Dabei ergibt sich nun ähnlich wie bei der AzKZ und der DHA eine ansteigende Rangfolge der Standorte von Norden nach Süden mit einem sehr deutlichen Vorsprung von Lilienhof für die erste Periode der N-Mineralisierung. In der zweiten Periode dagegen fällt dann Lilienhof hinter allen anderen Standorten merklich zurück.

Die Übereinstimmung der Anfangsgeschwindigkeit der Nitrifikation mit diesen den Allgemeinzustand des Bodens gut kennzeichnenden Merkmalen (nach allgemeinen Erfahrungen und auch im Vergleich mit den chemischen Merkmalen dieser Arbeit) zeigt, dass die Anfangsnitrifikation wohl besser als der Gesamtgehalt an Mineral-Stickstoff oder der Endgehalt an NO_3 zur Charakterisierung des Bodenzustandes geeignet ist. In bezug auf die höhere Pflanze müssen dagegen mehr der Gesamtgehalt an Mineral-N und die Andauer der N-Mineralisation die massgebenden Bezugswerte sein, da die Pflanze beide Verbindungen verwerten kann und zu ihrer Entwicklung Wochen bis Monate eine N-Nachlieferung benötigt. Sicher scheint jedenfalls auch hiernach, dass bei quantitativen Unterschieden in den Bodenbestandteilen "Bodenzustand" und "Bodenleistung" auseinanderklaffen können, und dass zu ihrer Bestimmung unterschiedliche Kriterien notwendig sind.

B. Verhalten der Unterbodenschichten

Wie bereits erwähnt, wurden die Unterbodenschichten nur einmal und zwar im Jahre 1968 untersucht. Da dadurch keine direkten Beziehungen zu den Mittelwerten der mehrfach untersuchten Oberböden gegeben sind, werden diese für den Standortvergleich zunächst nur allein aufgeführt.

1. Chemische Merkmale (Tab. 29 und 30)

Die Merkmale der Unterbodenschichten wurden durch die verschiedenen Standorte z.T. noch stärker verändert als die der Oberböden.

Besonders bemerkenswert sind auch in manchen Fällen noch grössere Unterschiede bei m. und o. Stallung. Ein Beispiel dafür ist Rankerbraunerde. So waren insbesondere in Lentförden und Völkenrode bei dem Teilstück m. St. die Acidität verringert, die AK, austauschbare Metallkationen und C_t aber stark erhöht, während das Teilstück o. St. z.T. entgegengesetzte oder doch schwächere Tendenzen in dieser angedeuteten Richtung erkennen liess. Dass es sich dabei nicht um einen Fehler bei der Probenahme handeln kann, geht daraus hervor, dass die aufgezeigten Unterschiede von der Krume bis in die unterste Schicht nachweisbar waren. Bereits im I. Teil wurde darauf hingewiesen, dass die Umlagerung der Rankerbraunerde am eigenen Standort zu einer wesentlichen Verbesserung ihrer Eigenschaften vorwiegend bei dem Teilstück o.St. geführt hat, während Stallung hier im allgemeinen von ausgesprochen negativer Wirkung war. Das ist aber offenbar nicht allein eine Frage des Bodens, denn andererseits hat der Stallung in Lentförden und Völkenrode auch bei Rankerbraunerde überwiegend positiv gewirkt. Die nach Standorten z.T. unterschiedlichen Wirkungen des Stallungs rufen natürlich in besonderem Masse unterschiedliche Tendenzen bei beiden Teilstücken hervor.

Bis auf Lilienhof wurde in allen Standorten die Acidität erhöht, insbesondere die hydrolytische Acidität. Dabei zeigten die unteren Schichten meist einen stärkeren Anstieg als die mittleren. Die stärksten Verschiebungen traten im Mittel in Lentförden auf. Das war auch beim Oberboden der Fall. In der AK bzw. in dem austauschbaren Ca+Mg zeigten meist eine Erhöhung Lentförden und Lilienhof, wobei von den Schichten die jeweils untere und von den Standorten Lilienhof die stärkeren Ausschläge zeigten. Aber auch Völkenrode zeigte z.T. Zunahmen, während Erndtebrück überwiegend Rückgänge an diesen Merkmalen aufwies. Etwas andere Tendenzen waren beim aust. K zu verzeichnen. Lentförden zeigte einheitlich bei allen 3 Böden z.T. starke Abnahmen in der mittleren, teilweise kräftige Zunahmen aber in der untersten Schicht. Diametral entgegengesetzt verhielten sich die Schichten dagegen in Völkenrode. In Erndtebrück hingegen waren Unterschiede vor allem nach Böden aufgetreten. Heidenodsol und Parabraunerde zeigten z.T. kräftige Zunahmen, während Pararendzina Abnahmen bis zu 45 % aufwies. Demgegenüber führte

Tab. 29

Chemische Merkmale verschiedener Böden und Bodenschichten unter dem Einfluss verschiedener Standorte

(Originalstandort = 100; o. = ohne; m. = mit Stalldung)

	Lentzbröden				Völkensrode				Erndtebrück				Lillienhof			
	Ns	Ws	Bs		Sn	Wn	Bn		Sw	Nw	Bw		Sb	Nb	Wb	
pH																
20-40cm	o.	89	97		98	94	100		96	93	100		124	117	111	
40-60 "	m.	100	98	97	99	104	100		97	100	100		127	108	125	
	o.	99	86	99	94	86	101		94	96	99		124	109	121	
	m.	97	115	99	93	104	99		91	96	99		122	106	145	
Hy																
20-40 "	o.	109	246	127	94	172	109		118	85	127		18	40	43	
40-60 "	m.	116	133	96	104	93	116		120	83	106		25	35	29	
	o.	132	200	117	108	170	105		99	125	117		29	65	49	
	m.	156	120	104	121	97	109		101	124	104		45	63	26	
AK																
20-40 "	o.	95	94	100	105	103	102		109	92	102		127	118	128	
40-60 "	m.	65	129	96	102	128	87		105	75	84		129	94	156	
	o.	100	107	101	86	100	101		81	100	96		156	130	176	
	m.	115	151	109	82	99	111		67	142	105		120	137	170	
H-Wert																
20-40 "	o.	120	144	117	103	112	113		109	76	100		33	73	63	
40-60 "	m.	103	125	110	97	96	129		120	90	105		30	40	55	
	o.	109	145	133	84	136	33		92	92	100		52	78	91	
	m.	189	102	100	101	109	138		96	106	150		53	67	44	
V-Wert																
20-40 "	o.	0	68	96	101	94	97		100	167	100		142	241	130	
40-60 "	m.	25	103	97	103	124	91		91	73	95		149	174	164	
	o.	82	69	99	102	68	102		91	117	100		147	185	142	
	m.	66	161	101	84	81	98		71	114	96		137	127	241	

Tab. 30

Chemische Merkmale verschiedener Böden und Bodenschichten unter dem Einfluss verschiedener Standorte

(Originalstandort = 100; o. = ohne; m. = mit Stalldung)

	Lentfördrden				Völkenrode				Erndtebrück				Lillienhof			
	Ns	Ws	Bs		Sn	Wn	Bn		Sw	Nw	Bw		Sb	Nb	Wb	
austb. Cat+Mg 20-40cm	o. m.	94 111	72 104	98 94	97 97	91 138	101 78		101 94	92 104	104 81		159 152	71 106	122 171	
40-60 "	o. m.	100 113	70 244	102 108	64 69	67 125	106 108		69 50	95 94	98 101		234 145	95 121	125 331	
austb. K 20-40cm	o. m.	92 72	38 59	48 75	262 134	69 109	53 116		212 103	108 79	56 71		249 73	185 102	102 77	
40-60 "	o. m.	121 182	55 232	38 55	75 48	85 58	38 91		108 75	161 282	55 83		266 64	316 382	439 300	
austb. Na 20-40 "	o. m.	76 200	115 242	800 47	85 70	152 226	1200 53		55 45	124 0	600 59		64 64	24 0	130 258	
40-60 "	o. m.	89 50	81 204	286 100	67 45	114 200	129 80		39 25	74 0	0 10		96 68	89 0	130 217	
C _t 20-40cm	o. m.	100 119	119 122	83 113	101 106	117 136	84 120		112 105	61 59	78 91		108 104	102 97	97 114	
40-60 "	o. m.	121 165	160 289	78 84	68 73	111 111	77 106		74 58	93 78	85 89		138 116	204 221	196 222	

Lilienhof in der überwiegenden Zahl der Fälle zu einer Steigerung des austb. K von z.T. über 200 - 300 %. Ein anderes Verhalten zeigten wieder die Gehalte an austb. Na, die auch in den unteren Schichten bei den von Süden nach Norden verlagerten Böden meist eine Steigerung, bei den von Norden nach Süden verlagerten aber meist eine Verminderung erkennenliessen. Nur Rankerbraunerde in Lilienhof (Wb) durchbricht diese Regel in gleicher Weise wie bei der Krume, zeigte also Zunahmen. Auf die wahrscheinlichen Ursachen im Verhalten des Na (einerseits abnehmende Na-Aerosole von Norden nach Süden, andererseits stärkerer Austausch des Na gegen Ca im Falle Wb) wurde bereits (S. 83) hingewiesen.

Auffallend starke Veränderungen traten auch im Gehalt an C_t auf. Überwiegend Zunahmen waren in Lentfördrden, Völkenrode und Lilienhof, überwiegend Abnahmen dagegen in Erndtebrück zu verzeichnen. In Lentfördrden und Lilienhof waren die Zunahmen in den untersten Schichten weit höher als in den mittleren (z.B. Ws = 189 %, Wb 122 %). In Völkenrode dagegen war es umgekehrt. In dem Verhalten des Kohlenstoffes und der Austauschkapazität besteht also eine gewisse Übereinstimmung, was aus der Abhängigkeit der AK von den Sorptionseigenschaften der organischen Substanz erklärlich ist.

Zusammenfassend ergibt sich folgendes Bild: Im Falle der Acidität, der AK, und des austb. Na liegen bei den Unterbodenschichten gewisse Ähnlichkeiten mit dem Verhalten der Oberböden vor. Stärkere Abweichungen davon liess der Gehalt an C_t insofern erkennen, als er umgekehrt zur Krume in Lilienhof meist angestiegen, in Erndtebrück aber meist abgefallen war. Im allgemeinen waren die Veränderungen der Merkmale bei den Unterbodenschichten sehr viel stärker als bei den Krumen.

2. Mikrobiologische Merkmale (Tab. 31)

Wie die chemischen wurden auch die mikrobiologischen Merkmale in den Unterbodenschichten im allgemeinen viel stärker verändert als in den Krumen. Standort Lentfördrden wirkte auf Parabraunerde und Rankerbraunerde überwiegend fördernd, aber auf Pararendzina stark hemmend. Lilienhof wirkte demgegenüber bei allen Böden auf alle vier Merkmale fördernd. Völkenrode und Erndtebrück liessen in 34 bzw. 42 von insgesamt 48 Fällen (bei 2 Schichten x 3 Böden,

Tab. 31

Biologische Merkmale verschiedener Böden und Bodenschichten unter dem Einfluss verschiedener Standorte

(Originalstandorte = 100; o. = ohne; m. = mit Stallung)

	Leinförden				Völkensrode				Erndtebrück				Lillienhof			
	Ns	Ws	Bs	Sn	Wn	Bn	Sw	Nw	Bw	Sb	Nb	Wb				
Bakterien	O. 100	53	41	39	173	47	39	19	33	263	281	526				
20-40 cm	m. 75	474	31	36	578	90	55	19	12	123	319	943				
40-60 "	O. 586	375	51	33	109	56	49	58	23	280	432	1293				
	m. 217	548	35	20	96	61	20	55	19	110	693	1383				
Azotobacter	O. 1400	0	4	0	60	59	0	288	22	(156)	27600	511				
20-40 "	m. 274	0	7	0	45	200	0	35	42	(89)	3471	2927				
40-60 "	O. (o)	0	0	0	0	4	0	(o)	4	(72)	(635)	18775				
	m. 100	(o)	2	0	(o)	80	0	0	15	(50)	43433	(479)				
CO ₂	O. 134	59	81	92	78	79	85	109	75	492	446	285				
20-40 "	m. 150	100	114	58	133	125	115	50	72	436	382	439				
40-60 "	O. 89	59	37	56	62	49	59	132	58	620	558	365				
	m. 103	186	70	51	88	70	46	62	63	302	371	510				
DHA	O. 107	94	34	103	148	44	79	41	47	263	224	197				
20-40 "	m. 104	126	62	108	164	122	76	37	49	187	152	184				
40-60 "	O. 233	237	53	47	85	52	60	81	53	397	1152	932				
	m. 238	1068	27	36	123	96	30	45	34	180	1081	396				

Die in Klammern gesetzten Werte sind absolute Zahlen je g Boden, da im jeweiligen Originalstandort keine Organismen gefunden wurden.

(o) = im Originalstandort nicht gefunden, im neuen Standort keine Veränderung

mit und ohne Stalldung x 4 Merkmale) Hemmwirkungen erkennen. Die Wirkung von Erndtebrück auf die Unterböden war allgemein ungünstiger als auf die Oberböden.

Die unterschiedliche Wirkung von Lentfördrden auf die Bodenarten kommt insbesondere im Verhalten der AzKZ (Bs = 7 - 0 %, Ns = 274 - 1400 %) und der BKZ (Bs = 51 - 35 %, Ns = 217 - 586 %, Ws = 375 - 548 %) zum Ausdruck. Bei der Krume wurden zwar schon ähnliche Tendenzen beobachtet (Tab. 26), aber nicht annähernd von dieser Grössenordnung. Der ungewöhnlich hohe Rückgang von Azotobacter in der stark carbonathaltigen Pararendzina (z.B. in der tiefsten Schicht von ursprünglich 3000 Zellen/g auf 20 Zellen/g) in Lentfördrden ist deshalb so erstaunlich, weil der pH-Wert nur um 0,05 gesunken war. Allerdings hatte hier das austb. K um 38 % (Tab. 30) abgenommen. Mit dem Rückgang des Kaliums mögen direkte Zusammenhänge bestehen (sie wurden wiederholt nachgewiesen, z.B. STÖCKLI 1944, AHRENS 1963a), doch deutet diese Tatsache auch darauf hin, dass in Lentfördrden vermutlich noch andere hier nicht untersuchte nachteilige chemische Veränderungen stattgefunden haben, die möglicherweise von noch stärker hemmender Wirkung waren. Ungeklärt ist dabei die Tatsache, warum diese nachteilige Wirkung vor allem bei der konstitutionsstarken Pararendzina und nicht bei der viel labileren Parabraunerde eingetreten ist. Parallel zu den chemischen Merkmalen zeigten Lentfördrden und Lilienhof die stärkeren Förderungen häufig in der untersten, Völkenrode zeigte sie mehr in der mittleren Schicht. Dabei herrscht der Eindruck vor, dass bei den Unterbodenschichten aller Standorte die jeweiligen Veränderungen im C-Gehalt (überwiegend Zunahmen in Lentfördrden und Lilienhof, überwiegend Abnahmen in Erndtebrück) die eigentliche Ursache für die Veränderungen der mikrobiologischen und z.T. auch der chemischen Werte waren; denn es ergibt sich nicht nur eine deutliche Parallelität bei den Standorten, sondern auch bei den Schichttiefen. Im Falle Lilienhof kommt allerdings noch die starke Anhebung des pH-Wertes als zusätzlich fördernder Faktor in Betracht.

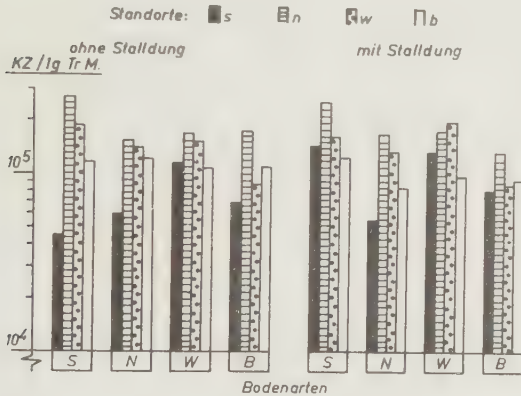
C. Standortmittelwerte und statistische Auswertung

Bisher wurden vor allem die durchschnittlichen Veränderungen der einzelnen verlagerten Böden betrachtet. Eine Berechnung dieser Veränderungen auf Signifikanz wäre nur bei den Merkmalen sinnvoll

gewesen, die mehr als dreimal untersucht wurden. Ein Teil der Merkmale hätte daher von einer statistischen Auswertung ausgeschlossen bleiben müssen. Wie aber bereits an einigen Beispielen herausgestellt werden konnte, haben sich einzelne Standorte durch sehr spezifische Wirkungen ausgezeichnet, so z.B. in der starken und nahezu einheitlichen Förderung der Pilze durch Standort Völkenrode (Abb. 17).

Abb. 17

Zahl der Pilze je Bodenart und Standort im Mittel der Jahre 1962/65/66/68



Eine Ausnahme bildete hier lediglich Rankerbraunerde/Völkenrode (Wn) wahrscheinlich deshalb, weil die Stallungseite des Bezugsbodens (Rankerbraunerde/Erndtebrück) im pH-Wert stark abgesunken und in der PiKZ (vermutlich dadurch) stark angestiegen war. Das Beispiel der Pilze steht für viele andere Merkmale, die nicht alle einzeln aufgeführt werden können. Sie berechtigen aber zu einer Berechnung von Standortmittelwerten und auf dieser Basis zu einer statistischen Auswertung der Unterschiede nach der Varianzanalyse. Da bei dieser Berechnung die Bodenfehler

eliminieren werden, ist es berechtigt, auch die Mittelwerte extremer Bodenunterschiede (z. B. C_t) zu vergleichen.

Die Berechnung der Varianzen erfolgte über alle Jahre bzw. alle Untersuchungen. Die Ergebnisse sind in den folgenden Tab. 32 - 35 und in den Abb. 18 - 21 wiedergegeben. Sie enthalten die Mittelwerte je Standort und Teilstück, die Signifikanzgrade sowie die Grenzdifferenzen für $p \ 5 \%$ (GD 5%). Gleichzeitig wurde die Signifikanz der Stallungswirkung angegeben. Hinsichtlich der F-Tests und der Wechselwirkungen muss auf die Anhangstabellen verwiesen werden. Die Signifikanzen ($p \%$) zwischen den Standorten basieren auf den Mittelwerten der jeweiligen beiden Teilstücke, weil diese bei der Varianzanalyse als Parallelen behandelt wurden. Das war wegen der fehlenden Parallelen in der Versuchsanordnung besonders bei wenigen Untersuchungen zweckmässig. Dabei sind die folgenden Unterschiede zu beachten: In Lentförden und Völkenrode lagen die Kennwerte der Teilstücke mit Stallung meist höher als o.St., zum Teil sogar signifikant höher, während das bei Erndtebrück umgekehrt war. Lilienhof verhielt sich dagegen mehr indifferent. Hier scheint also eine unterschiedliche Wirkung des Stallungs nach Standorten vorzuliegen, die später noch eingehender behandelt wird. **Dadurch ergeben sich nun** aber teilweise auch unterschiedliche Rangfolgen zwischen den Standorten, je nach dem, ob das eine oder andere Teilstück zum Vergleich herangezogen wird. Im Zweifelsfalle erscheint es daher angezeigt, die reine Standortwirkung (also ohne Wechselwirkung mit Stallung) an dem Teilstück o. St. abzuschätzen (mit der GD von $p \ 5 \%$, s. nachstehende Tabellen).

1. Oberböden (Tab. 32 - 35)

Die folgenden Tabellen zeigen, dass in den allermeisten Fällen die Unterschiede zwischen den Standortmittelwerten z.T. hoch gesichert waren. Das gilt insbesondere im Verhältnis zu Lilienhof, wo die Kennwerte aus den bekannten Gründen sehr häufig stark angestiegen waren. Deutlich geringere Werte wurden hier lediglich bei den folgenden Merkmalen gefunden: WK, austb. Na, H-Wert, C_t , N_t , PKZ und NH_4 . Die feuchteren Standorte Lentförden und Erndtebrück zeigten dagegen höhere Werte vor allem bei den Merkmalen WK, Acidität, C_t , N_t und Huminsäuren; gegenüber Völkenrode allein auch bei der

Tab. 32

Physikalische und chemische Kenndaten je Standort im Mittel von je 4 Böden

(Oberböden, o.=ohne, m.=mit Stalldung)

		Lentföhr- den (s)	Völken- rode (n)	Erndte- brück (w)	Lilien- hof- (b)	GD	p5 %
						Ö.	St.
Ton (%)	o.	10,8	10,7	11,2	11,2	0,35	0,25
	m.	11,0	10,6	11,5+	11,6++		
Schluff (%)	o.	49,9	50,1	50,2	52,4	1,01	0,71
	m.	49,2	49,9	50,9	51,8		
Grobsand (%)	o.	25,1	25,3	24,5	22,1	0,83	0,59
	m.	25,8+	25,7	24,0	22,5		
WK (gH ₂ O/100g)	o.	42,26	41,11	43,22	40,89	0,82	0,58
	m.	42,41	41,29	43,34	41,32		
Krümel (%) 2-1mm	o.	14,4	8,1	12,2	12,4	1,30	0,92
	m.	13,4	8,9	13,3	10,8		
<0,25mm	o.	40,3	54,6	46,6	51,2	1,45	1,03
	m.	44,2	51,5	45,3	52,8		
pH	o.	6,04	6,21	6,30	7,49	0,07	0,05
	m.	6,08	6,28+	6,19++	7,53		
Hy (ml/100g)	o.	37,7	32,4	35,9	7,0	2,6	1,84
	m.	36,1	34,0	40,0+++	7,0		
DL K (mg/100g)	o.	8,3	9,3	12,4	15,4	1,23	0,87
	m.	11,0+++	12,4+++	11,7	14,9		
DL P (mg/100g)	o.	6,1	7,6	8,0	9,8	0,72	0,51
	m.	6,6	9,0+++	7,8	9,6		
stat. Sicherung p %		s:n	s:w	s:b	n:w	n:b	w:b
Ton		-	1	1	1	1	-
Schluff		-	-	0,1	-	1	1
Grobsand		-	1	0,1	1	0,1	0,1
WK		5	5	1	0,1	-	0,1
Krümel 2-1 mm		0,1	-	1,0	0,1	0,1	-
< 0,25 mm		0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,1
pH		0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1
Hy		1	-	0,1	0,1	0,1	0,1
DL K		-	0,1	0,1	-	0,1	0,1
DL P		0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1

O. = Standorte

St. = Stalldung

Tab. 33

Chemische Kenndaten je Standort im Mittel von je 4 Böden

(Oberböden, o.=ohne, m.=mit Stalldung)

		Leinföhr- den (s)	Völken- rode (n)	Erndte- brück (w)	Lilien- hof (b)	GD	p5 %
						O.	St.
austb. K	o.	0,238	0,324	0,388	0,434	0,049	0,033
(mval/100g)	m.	0,322+++	0,441+++	0,385	0,371+		
austb. Na	o.	0,047	0,031	0,011	0,010	0,005	0,0004
(mval/100g)	m.	0,042++	0,037++	0,012	0,014+		
austb. Ca+Mg	o.	10,0	10,1	10,1	12,9	1,33	0,94
(mval/100g)	m.	10,6	11,1	10,0	13,0		
AK	o.	12,8	12,4	12,8	15,0	0,65	0,46
(mval/100g)	m.	12,6	12,6	12,5	14,7		
H-Wert	o.	3,5	3,5	3,5	0,9	nicht berechnet	
(mval/100g)	m.	4,2	3,7	4,2	1,1		
V-Wert	o.	71,0	70,2	71,5	93,6	4,87	3,44
(%)	m.	66,0++	70,4	66,7++	91,6		
C _t (%)	o.	2,781	2,743	2,806	2,644	0,072	0,051
	m.	2,862++	2,778	2,847	2,690		
N _t (%)	o.	0,176	0,168	0,176	0,160	0,003	0,002
	m.	0,178+	0,174+++	0,178+	0,166+++		
C/N	o.	14,5	14,5	14,2	14,2	nicht berechnet	
	m.	14,8	14,7	14,6	14,3		
Humins.	o.	25,2	20,4	21,7	22,3	1,22	0,85
(%)	m.	25,6	23,2+	23,4+	22,7		
Fulvos.	o.	17,0	18,0	19,6	18,6	2,44	1,73
(%)	m.	19,3+	19,2	18,0	19,3		
Rückstand	o.	57,8	61,6	58,7	59,1	2,82	1,20
(%)	m.	55,1+	57,6++	58,6	58,0		
stat.Siche- rung p %		s:n	s:w	s:b	n:w	n:b	w:b
austb. K		1	0,1	0,1	-	-	-
" Na		1	0,1	0,1	1	1	-
" Ca+Mg		-	-	1	-	1	0,1
AK		-	-	0,1	-	0,1	0,1
V-Wert		-	-	0,1	-	0,1	0,1
C _t		-	-	0,1	5	5	0,1
N _t		0,1	-	0,1	0,1	0,1	0,1
Humins.		0,1	0,1	0,1	-	-	-
Fulvos.		-	-	-	-	-	-
Rückstand		5	-	-	-	-	-

O. = Standorte

St. = Stalldung

Tab. 34

Biologische Kenndaten je Standort im Mittel von je 4 Böden
(Oberböden, o.=ohne, m.=mit Stallung)

		Lentföhr- den (s)	Völken- rode (n)	Erndte- brück (w)	Lilien- hof (b)	GD	p 5%
						O.	St.
Bakt.-KZ (Mill/g)	o. m.	21,97 24,79+	21,01 19,30	22,43 18,51++	35,55 34,87	3,72	2,63
Azotob.-KZ (g)	o. m.	719 676	1153 944	1358 1125 +	3427 3011+++	320	227
Cellulose- zer.-KZ (Tsd./g)	o. m.	70,14 111,42+	28,27 30,89	44,43 34,03	153,56 164,48	52,9	37,3
Pilz-KZ (Mill/g)	o. m.	0,072 0,103+++	0,190 0,182	0,141 0,145	0,113 0,099	0,025	0,017
Streptomyces- KZ (Mill/g)	o. m.	0,94 1,26	1,62 1,54	1,17 1,03	1,65 1,65	0,54	0,37
CO ₂ (mg/100g)	o. m.	63,1 65,9	56,6 62,0++	74,7 72,3	97,1 102,5++	4,76	3,36
O ₂ (ml/100g)	o. m.	43,7 45,2+	37,8 40,6+++	49,5 48,2	54,5 54,3	2,00	1,42
DHA (UPF/10g)	o. m.	284 340+++	299 358+++	420 401	740 826+++	33	23
stat.Siche- rung p%		s:n	s:w	s:b	n:w	n:b	w:b
BKZ		-	-	0,1	-	0,1	0,1
AzKZ		5	1	0,1	-	0,1	0,1
CeKZ		5	-	5	-	0,1	0,1
PiKZ		0,1	0,1	-	0,1	0,1	1
StKZ		-	-	5	-	-	1
CO ₂		5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
O ₂		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
DHA		-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1

O. = Standorte

St. = Stallung

Tab. 35

Biologische Kenndaten je Standort im Mittel von je 4 Böden

(Oberböden, o.=ohne, m.=mit Stalldung)

		Lentföhr- den	Völken- rode	Erndte- brück	Lilien- hof	GD p 5%	
		(s)	(n)	(w)	(b)	O.	St.
$\frac{NH_4-N}{(mg\ N/100g)}$							
O. Tag	o.	10,90	9,08	9,05	5,62	2,52	1,59
	m.	13,88+++	8,97	8,14	6,05		
9. "	o.	16,63	11,24	11,48	4,29	1,68	1,19
	m.	18,00+	11,83	15,33+++	3,23		
27. "	o.	3,27	0,24	0,23	0,33	nicht berechnet	
	m.	4,30	0,46	3,09	0,66		
Mittel	o.	10,27	6,85	6,92	3,41	nicht berechnet	
	m.	12,06	7,09	8,85	3,31		
$\frac{NO_3-N}{(mg\ N/100g)}$							
O. Tag	o.	1,99	2,08	2,20	1,51	0,45	0,32
	m.	2,62+++	2,71+++	3,26+++	1,68		
9. "	o.	2,67	3,19	3,61	4,70	0,40	0,28
	m.	3,57+++	3,66++	3,52	4,89		
27. "	o.	7,14	7,70	8,80	8,17	1,02	0,72
	m.	7,99+	8,12	7,92+	7,68		
Mittel	o.	3,93	4,32	4,87	4,79	nicht berechnet	
	m.	4,73	4,83	4,90	4,75		
stat.Siche- rung p%		s:n	s:w	s:b	n:w	n:b	w:b
NH ₄ O.Tag		1	1	0,1	-	1	5
	9. "	0,1	0,1	0,1	5	0,1	0,1
NO ₃ O.Tag		-	-	1	-	1	0,1
	9. "	-	5	0,1	-	0,1	0,1
	27. "	-	-	-	-	-	-

O. = Standort

St. = Stalldung

CeKZ und der Atmungsintensität. Völkenrode zeichnete sich vor allem durch die gegenüber allen anderen Standorten signifikant höheren Pilz-Keimzahlen aus.

Auf der folgenden Seite werden nun zum Vergleich mit den Standortmittelwerten noch die Kennwerte der nur umgelagerten Standortböden wiedergegeben. Eine Beschreibung des Vergleiches wird aber erst in Abschnitt E durchgeführt. Dort sind auch die Mittelwerte der

Kennwerte der umgelagerten Standortböden im Mittel aller Ergebnisse
(0 - 20 cm, m. und o. Stalldung)

Abb. 18: Physikalische und chemische Merkmale

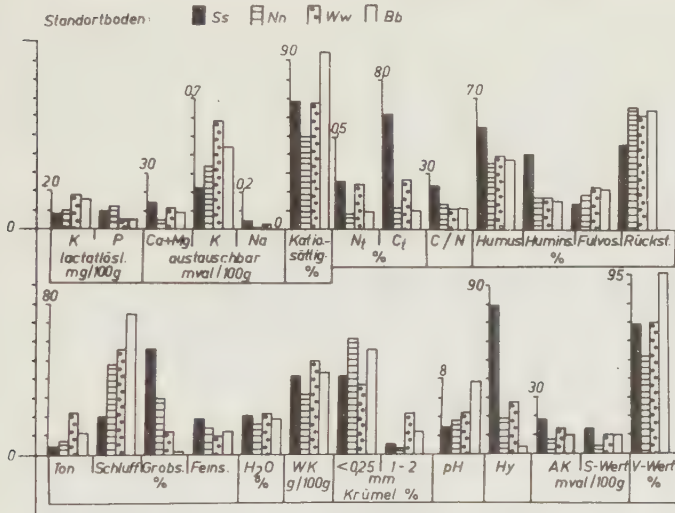
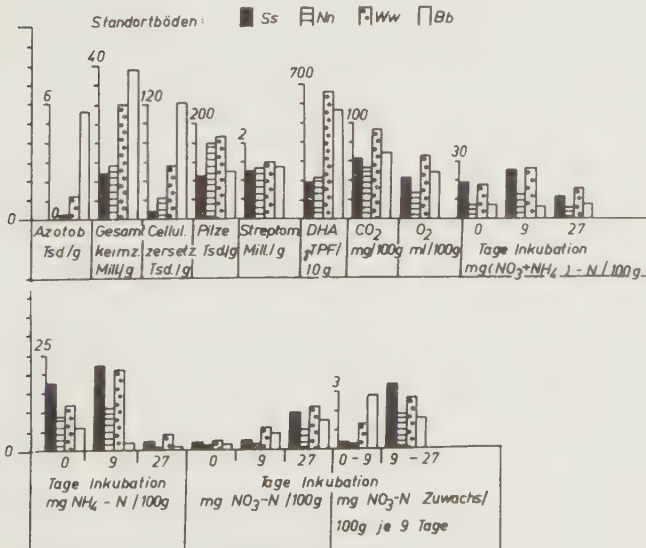


Abb. 19: Mikrobiologische Merkmale



relativen Veränderungen der jeweils an einen Standort verlagerten drei Bodenarten aufgetragen. Diese Mittelwerte sind für eine zusammenfassende Betrachtung der Haupttendenzen von Bedeutung.

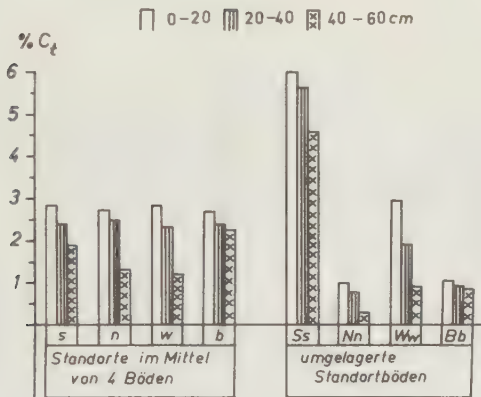
2. Unterbodenschichten

Um das Material übersichtlich und kurz zu gestalten, wurden in diesem Falle die Mittelwerte beider Teilstücke (m. und o. Stallung) zusammengefasst und in graphischen Darstellungen (Abb. 20 - 23) wiedergegeben. Bei den Unterbodenschichten kommt es nicht nur auf die Unterschiede zwischen den Standorten, sondern auch auf die Relationen zwischen den Schichttiefen an, die in Form von Graphiken übersichtlicher sind. Zum direkten Vergleich dieser Relationen wurden nur die Kennwerte der Oberböden berücksichtigt, die zum gleichen Zeitpunkt (1968) wie die der Unterbodenschichten erzielt wurden. Gleichzeitig werden wieder die Werte der nur umgelagerten Standortböden dargelegt. Ein Vergleich mit diesen Kennwerten wird jedoch ebenfalls erst in Abschnitt E durchgeführt.

Die Darstellungen zeigen deutlich, dass die Unterschiede zwischen den Standorten in der untersten Schicht weit grösser sind als in der mittleren. Dabei wies mit Ausnahme der Acidität Lilienhof stets die höchsten Werte auf. Das war auch bei der Krume der Fall. Ausser beim austb. Na waren die Unterschiede zwischen Lilienhof und den übrigen Standorten meist hoch gesichert. Abgesehen von Azotobacter, stand in der untersten Schicht an zweiter Stelle Lentföhrden, während Erndtebrück häufig die letzte Stelle einnahm. In der mittleren Schicht dagegen stand Völkenrode häufig (C_t , pH, AK, V %, austb. K, AzKZ, DHA) und Erndtebrück gelegentlich (pH, AK, V %, austb. K, AzKZ) vor Lentföhrden. Diese jeweilige Reihenfolge wies auch der C-Gehalt auf. Entgegengesetzt verhielt sich Azotobacter insofern, als er in beiden unteren Schichten die geringsten Keimzahlen in Lentföhrden aufwies. Aber das war im Durchschnitt auch bei der Krume der Fall (s. Tab. 34). Während also BKZ, DHA und teilweise auch die CO_2 -Bildung in weitgehender Übereinstimmung mit dem Humusgehalt standen, wich Azotobacter stärker ab. Ein ähnliches Bild hatte sich bereits bei dem Vergleich der Bodenarten ergeben (vgl. I. Teil).

Abb. 20

C_t in % der Tr.M. verschiedener Bodenschichten
(1968)



Stat. Sicherung (p %)

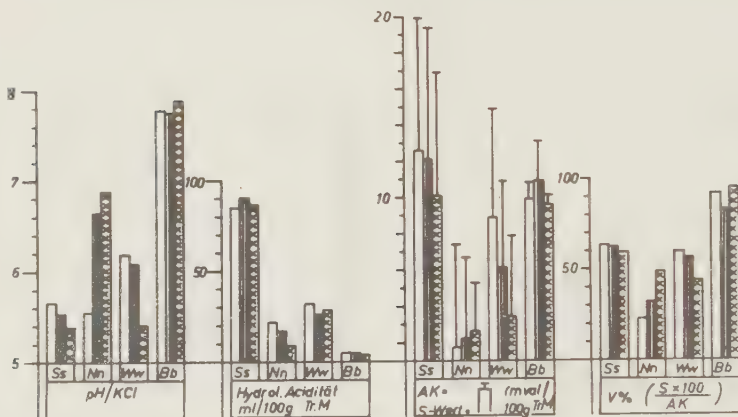
Diff.:	s : n	s : w	s : b	n : w	n : b	w : b
20-40	-	-	-	5	-	-
40-60 cm	0,1	0,1	5	-	0,1	0,1

Abb. 21

Chemische Kennwerte verschiedener Bodentiefen
im Mittel mit und ohne Stalldung

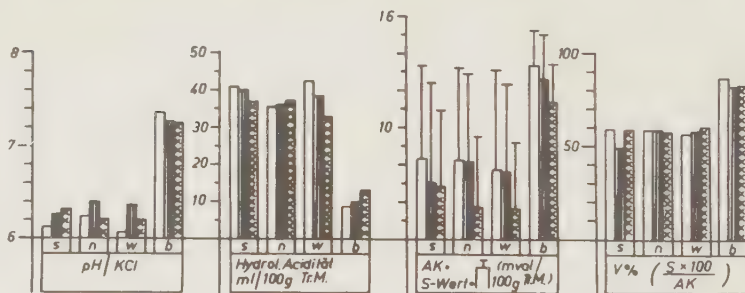
□ 0-20 ▨ 20-40 ▩ 40-60 cm

Standortböden



Standortwerte im Mittel

von 4 Böden



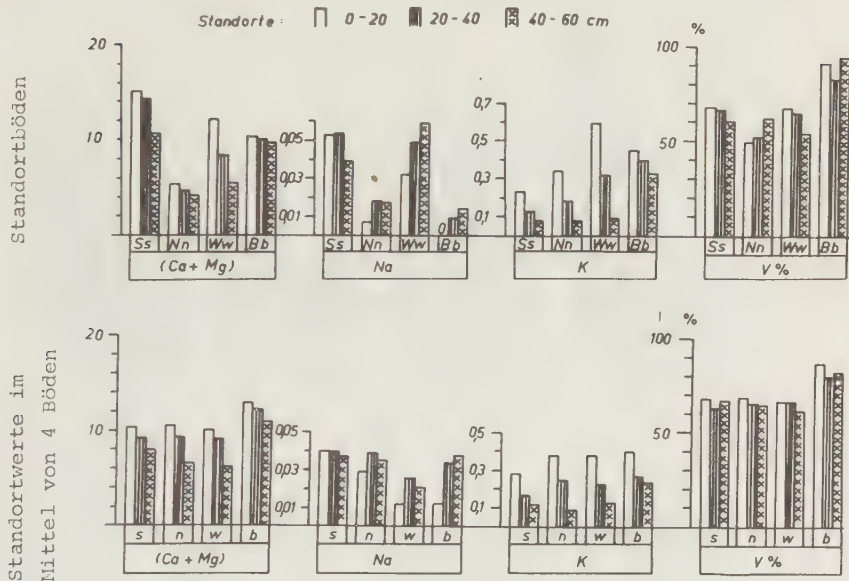
stat. Sicherung in p%

Standortmittelwerte

	s : n	s : w	s : b	n : w	n : b	w : b
pH 20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	-	0,1	-	0,1	0,1
Hy 20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	-	0,1	-	0,1	0,1
AK 20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	5	1	0,1	-	0,1	0,1
S-Wert						
20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	-	0,1	-	0,1	0,1
V% 20-40	1	0,1	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	-	0,1	-	0,1	0,1

Abb. 22

Chemische Kennwerte verschiedener Bodentiefen
im Mittel mit und ohne Stallung (1968)

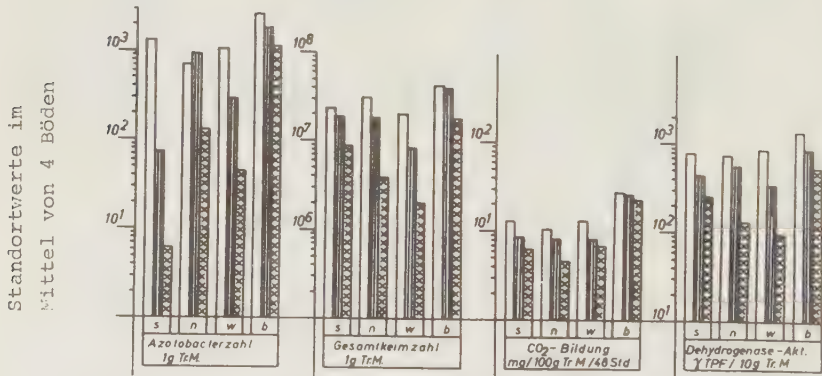
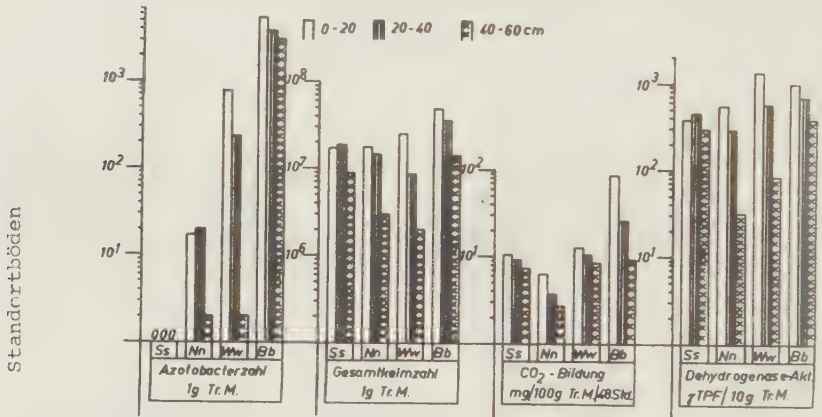


stat. Sicherung in p%
Standortmittelwerte

	s : n	s : w	s : b	n : w	n : b	w : b
Ca+Mg						
20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	5	1	-	0,1	0,1
Na						
20-40	-	1	-	1	-	5
40-60	-	-	-	5	-	1
K						
20-40		(nicht berechnet)				
40-60	-	-	0,1	0,1	0,1	0,1
V%						
20-40	-	-	0,1	-	0,1	0,1
40-60	-	-	1	-	0,1	0,1

Abp. 23

Mikrobiologische Kennwerte verschiedener Bodentiefen
im Mittel mit und ohne Stalldung (1968)



		s : n		s : w		s : b		n : w		n : b		w : b	
stat. Sicherung in %	AzKZ	20-40	-	-	1	-	5	-	1	-	5	-	5
		40-60	-	-	5	-	5	-	5	-	5	-	5
	BKZ	20-40	-	-	0,1	5	0,1	0,1	0,1	-	0,1	0,1	0,1
		40-60	5	1	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1	-	0,1
CO ₂	20-40	-	-	0,1	-	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1
	40-60	-	-	0,1	-	0,1	-	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1
DHA	20-40	1	5	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-	0,1	-	0,1
	40-60	-	-	5	-	5	-	5	1	-	5	-	1

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse, dass die Unterbodenschichten teilweise andere Standortreihenfolgen aufwiesen als die Krümen. Das gilt in einem besonderen Masse für den C-Gehalt und die erwähnten in Korrelation mit dem C-Gehalt stehenden chemischen und biologischen Merkmale.

Andererseits ist auffallend, wie in der Reihenfolge der Standortmittelwerte die Werte für Na, K, GKZ, CO₂ und DHA eine grosse Ähnlichkeit mit der Reihenfolge der umgelagerten Standortböden aufweisen (vgl. Abb. 22 und 23), ganz im Gegensatz zum Gehalt an C_t (Abb. 20).

Im Folgenden sei noch auf die Zahl der Signifikanzfälle zwischen den einzelnen Standorten hingewiesen.

Tiefe cm	Merkmals- gruppen	Zahl der Standort-Signifikanz						
		s : n	s : w	s : b	n : w	n : b	w : b	
0-	physikal. (n=6)	3	4	6	5	4	3	
20	chem. (n=14)	8	6	12	4	10	9	
	biol. (n=13)	7	8	11	5	11	12	
20-	chem. (n=9)	1	2	7	2	7	8	
40	biol. (n=4)	1	1	4	2	4	4	
40-	chem. (n=10)	2	3	9	2	9	10	
60	biol. (n=4)	1	1	4	0	4	4	
Sa.		60	23	25	53	20	49	48

Am häufigsten sind die Unterschiede jeweils zu Lilienhof (s,n,w:b), am wenigsten zwischen Völkenrode und Erndtebrück (n : w) gesichert. Auch in diesen Zahlen kommt die überragende Wirkung der unfreiwilligen Kalkeinwaschung in Lilienhof (evtl. in Verbindung mit dem aus mikrobiologischer Sicht günstigen Klima) zum Ausdruck.

Die in den Mittelwerten zum Ausdruck gekommenen Tendenzen der einzelnen Standorte dürfen jedoch nicht darüber hinwegtäuschen, dass die Böden in vielen Fällen unterschiedlich reagiert haben. Auf diese Erscheinung, auf die später noch näher einzugehen sein wird, sei in diesem Zusammenhang abermals ausdrücklich hingewiesen.

Im F-Test (vgl. Anhangstabellen) waren von 37 Merkmalen der Oberböden und von 13 Merkmalen der Unterbodenschichten die folgenden Fälle bei mindestens $p \ 5\%$ signifikant:

	0 - 20	20 - 40	40 - 60 cm
Stalldung	6	2	2
Standort	35	12	12
Boden	36	12	10
Stalldung/Standort	9	4	0
Stalldung/Boden	7	4	1
Standort /Boden	31	10	8

Sie lassen eine hohe Zahl der Signifikanzfälle bei den Bodenarten, den Standorten und in der Wechselwirkung zwischen Standorten und Bodenarten, eine wesentlich geringere dagegen beim Stalldung und bei der Wechselwirkung zwischen Stalldung und Standort sowie Stalldung und Bodenarten erkennen. Dabei gab es prozentual gesehen zwischen den Schichttiefen bis auf zwei Ausnahmen keine grossen Unterschiede. Die Ausnahmen beziehen sich auf die unterste Bodenschicht (40 - 60 cm), wo keine Signifikanz in der Wechselwirkung zwischen Stalldung und Standorten und nur noch ein Fall von Signifikanz in der Wechselwirkung zwischen Stalldung und Bodenarten auftrat.

Insgesamt gesehen war die Häufigkeit gesicherter Unterschiede durch die Standorte ebenso gross wie die durch die Bodenarten.

D. Wirkung der Standorte auf die Erträge und das Wachstum höherer Pflanzen

Die Ertragsrelationen gibt Tab. 36 wieder. Die hierfür massgebenden Bezugswerte (umgelagerter Standortboden = 100 %) sind im ersten Teil in Tab. 18 enthalten.

Die Kartoffel- und Kornrerträge wiesen auf den jeweils nach Norden verlagerten Böden meist eine Zunahme, auf den jeweils nach Süden verlagerten meist eine Abnahme auf. Dabei stiegen die Unterschiede in der Regel mit zunehmender Entfernung an. Eine andere Relation war beim Haferstroh festzustellen. War der neue Standort feuchter und/oder kühler als der Originalstandort eines Bodens, stieg der Strohertrag, war er trockener und/oder wärmer, fiel er. Das kommt besonders deutlich einerseits in der Verlagerung von Parabraunerde und Pararendzina nach Lentföhrden sowie in der Verlagerung von Heidepodsol, Parabraunerde und Pararendzina nach Erndtebrück (in beiden Fällen jeweils feuchter und kühler = gestiegener Strohertrag), andererseits in der Verlagerung von Heidepodsol und Rankerbraunerde nach Völkenrode (trockener und wärmer = gesunkener Strohertrag) zum Ausdruck.

Ganz im Gegensatz dazu zeigte der Gefässversuch mit Winter-Raps das stärkste Wachstum auf Böden aus Lilienhof. Alle nach hier verlagerten Böden wiesen eine Zunahme der Produktivität auf und zwar zwischen 5 und 120 %. In den übrigen Standorten wurde die Produktivität in Abhängigkeit von der Bodenart und der Düngung mit Stalldung dagegen unterschiedlich beeinflusst. Dabei hat sich insbesondere Lentföhrden ungünstig auf Pararendzina ausgewirkt, was ja auch bei vielen chemischen und biologischen Merkmalen der Fall war. Demgegenüber aber zeigten Parabraunerde und Rankerbraunerde aus Lentföhrden zumindest eine Erhöhung des Sprossgewichtes, obwohl deren chemische und biologische Eigenschaften zum grossen Teil hier auch ungünstig beeinflusst worden waren.

Die Standortmittelwerte und die statistische Auswertung sind in Tab. 37 enthalten. Sie zeigen, dass die Unterschiede zwischen den Standorten bis auf wenige Ausnahmen gesichert, zum grossen Teil sogar hoch gesichert, sind. Dabei wies Haferkorn die grössten Unterschiede auf. In Lilienhof betrug der Durchschnittsertrag gegenüber Lentföhrden nur noch 57 %.

Tab. 36

Relativzahlen der Ergebnisse verlagerter Böden je Standort im Mittel aller Untersuchungen
(Originalstandort = 100; o. = ohne, m. = mit Stallung)

	Lentfördrden			Völkenrode			Erndtebrück			Lillienhof	
	Ns	Ws	Bs	Sn	Wn	Bn	Sw	Nw	Bw	Sb	Nb
Kartoffeln (8 Jahre)	o. 97	130	138	101	128	158	84	76	94	80	72
	m. 105	124	174	93	120	186	83	83	121	71	60
Haferkorn (6 Jahre)	o. 116	184	192	70	111	140	70	74	132	51	77
	m. 111	188	185	76	115	123	75	68	106	60	75
Haferstroh (6 Jahre)	o. 117	94	137	76	74	102	134	130	136	92	123
	m. 124	93	137	83	66	97	149	136	129	97	131
Raps:											
Wurzel- gewicht	o. 136	94	73	113	77	81	137	120	107	153	220
	m. 96	99	87	91	112	119	107	77	93	129	125
Spross- gewicht	o. 126	117	94	107	91	88	108	123	91	152	159
	m. 108	117	91	98	107	96	115	85	100	135	124

Tab.37

Erträge je Standort im Mittel von je 4 Böden

(o.=ohne, m.=mit Stalldung)

		Lent- fördrden	Völken- rode	Erndte- brück	Lilien- hof	GD p 5%	
		(s)	(n)	(w)	(b)	o.	St.
Kartoffeln	o.	293,7	306,0	225,7	222,9		
(dz/ha)	m.	311,4+++	304,7	244,2+++	200,3+++	12,1	8,5
Haferkorn	o.	42,6	30,7	27,3	24,2		
(dz/ha)	m.	44,0	32,0	27,0	25,3	2,1	1,5
Haferstroh	o.	61,6	47,8	68,3	57,1		
(dz/ha)	m.	62,8	47,7	70,5+	57,6	3,1	2,2
Wi-Raps:							
(g Tr.M./Ge- fäss)							
-Wurzel	o.	0,141	0,132	0,167	0,193	0,013	0,009
	m.	0,151+	0,170+++	0,150+++	0,192		
-Spross	o.	0,493	0,434	0,469	0,564	0,023	0,016
	m.	0,508+	0,489+++	0,489+	0,584+		
stat.Siche- rung p%		s:n	s:w	s:b	n:w	n:b	w:b
Kartoffeln		-	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Korn		0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	-
Stroh		0,1	0,1	1	0,1	0,1	0,1
Wurzel		-	5	0,1	-	0,1	0,1
Spross		0,1	-	0,1	-	0,1	0,1

O. = Standort

St. = Stalldung

Andererseits zeigte Pararendzina, die durchweg die günstigsten chemischen und biologischen Eigenschaften aufwies, von allen Böden in Lentfördrden die höchsten Haferkornenerträge. Bei Kartoffeln stand sie jedoch in Erndtebrück an erster Stelle. Im eigenen Standort (Lilienhof) trat sie dagegen zumindest bei den Kartoffelerträgen ziemlich stark hinter den anderen drei Böden zurück. Die an sich günstigen Eigenschaften dieses Bodens wurden also durch ein anderes Klima als in Lilienhof, vermutlich durch die höhere Feuchtigkeit, offenbar in besonderem Masse mobilisiert. Das ist deshalb bemerkenswert, weil ja eine ganze Reihe von Bodenkennwerten insbesondere in Lentfördrden, aber auch in Erndtebrück, zurückgegangen war. Auf die Produktivität hatte sich diese Tatsache demnach noch nicht ausgewirkt (bezüglich der Einzelerträge s. Anhangstabelle 60).

Vergleicht man nun die Standortmittelwerte (Tab. 37) mit den Erträgen der jeweiligen Standortböden (I. Teil, Tab. 20), so fällt eine grosse Ähnlichkeit der Tendenzen auf. Mit anderen Worten: Die Erträge der verlagerten Böden passten sich in der Relation den Erträgen der Standortböden an. Es wiederholte sich also hier ein Phänomen, auf das auch schon bei physikalischen, chemischen und biologischen Merkmalen aufmerksam gemacht werden konnte. Der jeweilige Standort übte also einen überragenden Einfluss aus.

Vergleicht man weiter die jeweilige Reaktion der höheren Pflanzen mit den chemischen und biologischen Kennwerten der Böden bzw. Standorte, so zeigt sich, dass ähnlich wie bei den Standortböden zu den Erträgen speziell an Kartoffeln und Haferkorn eine ausgesprochen negative, zum Gefässversuch mit Wi-Raps aber eine mehr positive Korrelation besteht (Tab. 38). Raps korreliert insbesondere mit dem pH-Wert, den DL-löslichen Nährstoffen P und K, der BKZ, AzKZ, dem O_2 -Verbrauch, der DHA und dem NO_3 -Gehalt am 9. Tag der Inkubation bzw. der Zuwachsrates an NO_3 vom Beginn bis zum 9. Tag. Die Erträge an den Standorten selbst zeigen dagegen eher eine Beziehung zu dem im Brutversuch gefundenen Mittel des Gesamt-Mineralstickstoffs. Es ist jedoch kaum anzunehmen, dass dieser Faktor für die Standorterträge besonders ausschlaggebend war, wenn sich im Gefässversuch das Gegenteil erwies. Andererseits lassen sich auch keine Beziehungen zwischen den Standorterträgen an Kartoffeln und Korn und den Klimadaten Temperatur und Niederschlag finden. Nur die Stroherträge korrelieren positiv mit der Niederschlagsmenge bzw. dem Regen-Faktor und negativ mit der Höhe der Temperatur. Unter der Voraussetzung gleichartiger Behandlungen der Versuchsflächen (die höchstens durch die jeweiligen Klimaunterschiede in der Bearbeitung, der Saatzeit etc. modifiziert worden sind), muss daher angenommen werden, dass die Erträge an Kartoffeln und Korn durch spezifische die Bodeneigenschaften überlagernde Standortfaktoren dominierend beeinflusst wurden. Da die Erträge der einzelnen Böden in der Haupttendenz jeweils von Norden nach Süden zunehmend sanken und von Süden nach Norden zunehmend stiegen (Tab. 36), muss auf noch näher zu definierende "Breitengradfaktoren" geschlossen werden.

Tab. 38

Gegenüberstellung von Erträgen und verschiedenen Boden- und Standortfaktoren auf der Basis von Standortmittelwerten und in Relation zu Lentföhrden (im Mittel m. und o.St. ,Oberboden)

	Lentföhr- den	Völken- rode	Erndte- brück	Lilien- hof
Kartoffeln	100	101	82	70
Haferkorn	100	72	62	57
Haferstroh	100	77	111	92
Wi-Raps/Gefässversuch (Spross)	100	92	96	115
(Wurzel)	100	103	109	132

pH	100	103	103	123
DL P	100	130	123	152
DL K	100	112	125	157
AK	100	98	100	117
V-Wert	100	103	101	137
C _t	100	98	100	95
N _t	100	97	100	92

Bakterien	100	87	88	151
Azotobacter	100	150	178	462
Cellulosezerersetzer	100	33	43	175
Pilze	100	214	164	122
Streptomyceten	100	144	100	150
O ₂ - Aufnahme	100	88	110	122
Dehydrogenase-Aktivität	100	105	132	251
NH ₄ / 9.Tag Inkubation	100	67	77	22
NO ₃ / 9.Tag Inkubation	100	110	114	154
NO ₃ /27.Tag Inkubation	100	104	110	105
NO ₃ -Zuwachs bis 9.Tag	100	113	135	343
(NH ₄ +NO ₃)-N (Mittelwert)	100	75	82	52

Niederschläge	100	88	161	96
Temperatur	100	117	78	122
Regen-Faktor	100	79	189	79

So ist zu beachten, dass die Tageslänge in der Hauptvegetationszeit vom nördlichsten (Lentförden) zum südlichsten (Lilienhof) Standort um rund eine Stunde abnimmt und dass nach den Protokollen der Versuchsbetreuer die Vegetationszeit in Lilienhof bei Hafer durch die früher beginnende Ernte im Durchschnitt um 11 Tage kürzer war. In Lilienhof scheinen ausserdem wegen des relativ feucht-warmen Klimas (bedingt auch durch die örtliche Lage) stärker aufgetretene pilzliche Erkrankungen, in Erndtebrück Frühjahrsfröste, späte Ackerbestellung, durch hohe Niederschläge verursachtes Lagergetreide und die allgemein niedrigen Temperaturen ertragsdrückend gewirkt zu haben. Darüberhinaus darf nicht die Tatsache vernachlässigt werden, dass sich sowohl Kartoffeln als auch Hafer durch eine ausgesprochene Vorliebe für maritime Klimatalagen auszeichnen. Insgesamt ergibt sich daher der Eindruck, dass diese Bedingungen in Kombination mit den vermuteten "Breitengradfaktoren" (Tageslänge, Lichtintensität, Krankheiten ?) vorrangig die Ertragsentwicklung von Kartoffeln und Korn bestimmt haben, während der Strohertrag offenbar in direkter Abhängigkeit von der Feuchtigkeit bzw. der Temperatur stand. Dieser Befund steht in Übereinstimmung sowohl mit eingehenden Untersuchungen (z. B. WEAVER 1920, 1925) als auch mit allgemeinen Erfahrungen, nach denen kühle und feuchte Lagen vorrangig die vegetative Entwicklung der Pflanzen fördern.

E. Vergleich der verlagerten Böden mit den umgelagerten Standortböden unter Berücksichtigung der Haupttendenzen und Korrelationen

Bisher wurden die Veränderungen der einzelnen verlagerten Böden sowie die absoluten Standortmittelwerte betrachtet. Dabei hatte sich herausgestellt, dass die einzelnen Standorte charakteristische Wirkungen hervorgerufen haben. Aber nicht in allen Fällen war die Wirkung auf die jeweils drei in einen Standort verlagerten Böden gleich. Häufig zeichneten sich jedoch folgende Haupttendenzen ab. Da sowohl Plus- als auch Minusabweichungen auftraten, werden die Haupttendenzen je Standort auf der Basis der relativen Veränderungen der einzelnen Böden zu einem geometrischen Mittel (GM) berechnet. Durch die Wiedergabe der mittleren relativen Veränderungen der verlagerten Böden wird sichtbar, wie der einzelne Standort vorwiegend gewirkt hat. Wegen der besseren Vergleichbarkeit untereinander

werden die Ergebnisse der Oberböden in graphischer, die der Unterbodenschichten in tabellarischer Form wiedergegeben.

1. Merkmale der Oberböden und Erträge (Abb. 24 - 30)

Da bei den folgenden Betrachtungen der Vergleich der Haupttendenzen der Standorte mit den Kennwerten der nur umgelagerten Standortböden eine Rolle spielt, muss diesbezüglich auf die Abb. 18 und 19, S. 113, zurückverwiesen werden. Die aus den Abb. 24 - 30 sich ergebenden Standortwirkungen sind auf S. 131 zusammengefasst. Daraus ist zu ersehen, dass die Zahl der Veränderungen im Sinne einer Abnahme der Werte von Norden nach Süden geringer, von Süden nach Norden aber grösser wird. Die höchste Zahl der unveränderten Merkmale zeigt Völkenrode, die geringste (jeweils nur zwei) zeigen Lentföhrden und Lilienhof (wenn wie hier die Grenze bei + 1 % gesetzt wird).

Die Gruppierung der Merkmale nach positiven und negativen Veränderungen je Standort führte zu den nachfolgenden Zahlenverhältnissen. Hierbei wurden Korn- und Krümelgrössen sowie Na nicht berücksichtigt und in der N-Mineralisierung wurde nur die Summe von $\text{NH}_4^- + \text{NO}_3^-$ zugrundegelegt.

	Lentföhrden	Völkenrode	Erndtebrück	Lilienhof
Zahl der positiven	8	3	11	15
Zahl der negativen	14	14	10	7
Zahl der unveränderten	0	5	1	0

Auch diese Zahlenverhältnisse zeigen eine auffallend negative Korrelation mit den Standort-Erträgen, aber eine mehr positive mit dem Gefässversuch (vgl. Tab. 37).

Die Relationen zeigen weiterhin, dass viele Merkmale eine jeweils gleichgerichtete Tendenz und eine gleiche Rangfolge nach Standorten aufweisen. Sie lassen sich in folgende Gruppen einteilen:

G in %

Standorte: s n w

Standort	H ₂ O-Geh.	WK	Ton < 0.002	Schluff 0.002-0.06 mm	Feinsand 0.06-0.2 mm	Grobsand 0.2-2 mm	Krümel > 2 mm
s	115	105	100	100	100	85	165
n	110	100	105	105	105	125	155
w	110	100	120	105	105	110	135

6.7 in %

Standorte: ■ s □ n □ w □ b

Kategorie	s	n	w	b
C _t	110	105	100	95
N _t	105	100	95	90
C/N	105	100	95	90
Gesamt-Huminsäuren	110	105	100	95
unlöslicher Rückstand	105	100	95	90

Relative Veränderungen der Merkmale je Standort im Mittel
der 3 verlagerten Böden (0 - 20 cm)

Abb. 26: Chemische Merkmale

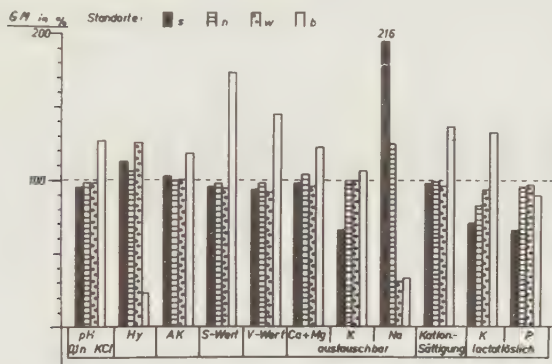
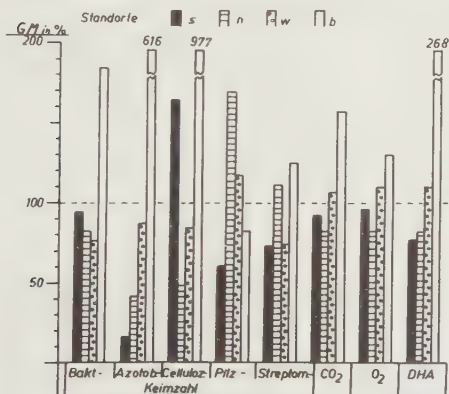


Abb. 27: Mikrobiologische Merkmale



Relative Veränderungen der Merkmale je Standort im Mittel der 3 verlagerten Böden (0 - 20 cm)

Abb. 28: Mikrobiologische Merkmale

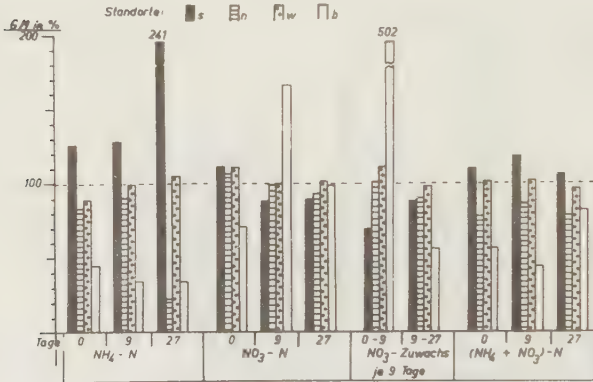


Abb. 29:

Erträge der umgelagerten Standortböden im Mittel aller Ergebnisse und der Teilstücke m. und o. Stallung

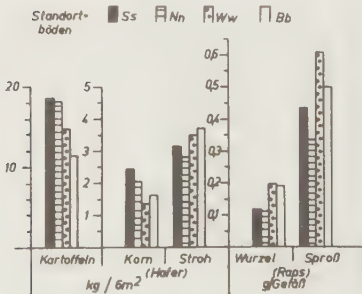
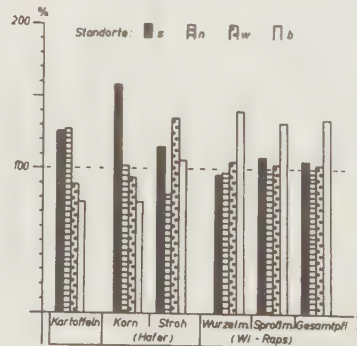


Abb. 30:

Relative Veränderungen der Erträge je Standort im Mittel der drei verlagerten Böden



Vorwiegende Wirkung der Standorte auf einzelne Merkmale:

zunehmend (> 1%)	gleichbleibend (± 1 %)	abnehmend (> 1%)
	<u>Lentfördrden (s)</u>	
Wassergehalt, Grobsand, Krümel 2-1mm, Hy, AK, Na, C _t , N _t , C/N, Humins., CeKZ, NH ₄ -N;	WK, Feinsand	Ton, Schluff, Krümel < 0,25mm, pH, V-Wert, Ca+Mg, austb. K, DL K u. P, Fulvos., Rückstand, BKZ, AzKZ, PiKZ, StKZ, CO ₂ , O ₂ , DHA, NO ₃ -N;
	<u>Völkenrode (n)</u>	
Grobsand, Krümel < 0,25 mm, Hy, Ca+Mg, Na, Rückstand, PiKZ, StKZ;	Schluff, AK, austb. K, C _t , N _t , Humins., NO ₃ /9. Tag	Wassergehalt, WK, Ton, Feinsand, pH, V-Wert, DL K u. P, Fulvos., BKZ, AzKZ, CeKZ, CO ₂ , O ₂ , DHA, NH ₄ -N, NO ₃ -N/27. Tag;
	<u>Erndtebrück (w)</u>	
Wassergehalt, WK, Ton, Schluff, Grobsand, Krümel 2-1mm, Hy, C _t , N _t , Humins., Rückstand, PiKZ, CO ₂ , O ₂ DHA, NH ₄ -N/27. Tag; NO ₃ -N/27. Tag;	austb. K, NH ₄ -/9. Tag; NO ₃ -N/9. Tag;	Feinsand, Krümel < 0,25mm, pH, V-Wert, Ca+Mg, Na, DL K u. P, C/N, Fulvos., AzKZ, BKZ, CeKZ, StKZ;
	<u>Lilienhof (b)</u>	
Wassergehalt, Ton, Schluff, Krümel < 0,25 u. 2-1mm, pH, AK, V-Wert, Ca+Mg, austb. K, DL K, BKZ, AzKZ, CeKZ, StKZ, CO ₂ , O ₂ , DHA, NO ₃ -N/9. Tag;	Feinsand, Humins.	WK, Grobsand, Hy, Na, DL, P, C _t , N _t , C/N, Fulvos., Rückstand, PiKZ, NH ₄ -N, NO ₃ -N/27. Tag;

- a) $b > w > n > s$ = Ton, Schluff, pH, austb. K, DL K, AzKZ, DHA,
 NO_3 / 9. u. 27. Tag, NO_3 -Zuwachs von 0 - 9 Tagen;
- b) $b > s > n \approx w$ = BKZ, CeKZ, CO_2 , O_2 ;
- c) $s > n > w > b$ = Grobsand, C/N;
- d) $b > n > s > w$ = V-Wert, Ca + Mg;
 zu diesen Merkmalen steht die Hy und bis auf
 Lilienhof auch die AK im umgekehrten Verhältnis;
- e) $b \approx w > n \approx b$ = C_t , N_t , NH_4 , Hy, Wassergehalt, Krümel 2 - 1 mm;
- f) $s > b \approx w > n$ = Huminsäuren;

Bei einem Teil der Merkmale besteht ein umgekehrtes Verhältnis.
 Hierunter fallen Schluff : Grobsand, Krümel $< 0,25 : 1 - 2$ mm,
 StKZ : Hy und NH_4 , C/N : DHA und AzKZ, Na : K.

Die Schimmelpilze zeigten mit keinem Merkmal eindeutige Beziehungen. Zwischen verschiedenen Merkmalen sind jedoch deutliche Korrelationen zu erkennen. Sie können wechselseitig (z. B. NH_4 -Gehalt in Abhängigkeit von der Feuchtigkeit und/oder der Acidität) oder durch übergeordnete Faktoren (wie Klima, Standort, vgl. Erhöhung von C_t und N_t sowie Acidität in den feuchteren Standorten Lentfördrden und Erndtebrück) bedingt gewesen sein.

Für eine Reihe von Parallelfällen wurden Korrelationsberechnungen durchgeführt, die in nachstehender Tab.39 wiedergegeben sind. Die Korrelationen wurden gesondert für jeden Boden, aber über alle Untersuchungen (Jahre) und alle vier Standorte berechnet. Am stärksten waren die Korrelationen beim Heidepodsol, am geringsten bei Rankerbraunerde und Pararendzina ausgeprägt. Hierin kann eine gewisse Beziehung zur Labilität, d.h. zur Beeinflussbarkeit, der Böden gesehen werden. Heidepodsol und Parabraunerde waren am stärksten beeinflussbar. Bei jeweils mehreren Böden zeigten sich signifikante Zusammenhänge vor allem zwischen den folgenden Merkmalen:

pH - DHA; BKZ - DHA; DL K - DHA; pH - AzKZ;
 DL P - AzKZ; DHA - AzKZ.

Da die mikrobiologischen Merkmale unabhängig von der Jahreszeit bzw. den Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnissen meist die gleichen standortspezifischen Unterschiede aufwiesen (vgl. Abb. 10 - 13), muss angenommen werden, dass sie primär durch die chemischen Eigenschaften bzw. die Veränderungen der chemischen Eigenschaften bedingt waren.

Tab. 39

Korrelationsberechnung einiger Merkmale je Boden über alle Untersuchungen und Standorte

(+ = 5%, ++ = 1%, +++ = 0,1% Überschreitungswahrscheinlichkeit)

(Oberboden)

	Heide- podsol (s)	Para- braunerde (n)	Ranker- braunerde (w)	Para- rendzina (b)
pH - DHA (n = 32)	0,769+++	0,169-	0,368+	0,251-
BKZ - DHA (n = 16)	0,862+++	0,296-	0,211-	0,476+
BKZ - CO ₂ (n = 16)	0,819+++	0,337-	0,402-	0,093-
DL P - DHA (n = 16)	0,851+++	0,311-	0,436-	0,397-
DL K - DHA (n = 16)	0,524++	0,865+++	0,786+++	0,629+++
pH - NO ₃ 9.Tag (n = 16)	0,368-	0,643++	0,297-	0,457-
pH - AzKZ (n = 32)	0,529++	0,820+++	0,773+++	0,325-
DL P - AzKZ (n = 16)	0,560+	0,610+	0,223-	0,257-
DL K - AzKZ (n = 16)	0,319-	0,625+	0,334-	0,085-
DHA - AzKZ (n = 24)	0,994+++	0,983+++	0,909+++	0,964+++
DHA - CeKZ (n = 24)	0,043-	0,111-	0,101-	0,180-
AzKZ - BKZ (n = 24)	0,395+	0,243-	0,127-	0,356-
AzKZ - CeKZ	0,001-	0,011-	0,101-	0,114
BKZ - CeKZ	0,185-	0,013-	0,153-	0,534++

Auffallend war auch der sehr hohe Korrelationskoeffizient zwischen der DHA und der AzKZ. Azotobacter gilt seit langem als empfindlicher Testorganismus für bestimmte Bodeneigenschaften. Aufgrund dieser Ergebnisse ergibt sich nun die Wahrscheinlichkeit, dass die DHA als ein ähnlich empfindlicher Test angesehen werden kann. Auch bei anderen Untersuchungen (50 Bodenproben einer LUFA-Enquete, unveröffentlicht) wurde eine hohe Signifikanz zwischen AzKZ und DHA gefunden.

Bei den Erträgen bzw. dem Gefässversuch wurde schon darauf hingewiesen, dass die Mittelwerte der Standorte im wesentlichen die gleiche Reihenfolge einnahmen wie die umgelagerten Standortböden. Vergleicht man unter diesem Aspekt alle Merkmale, so lassen sich eine ganze Reihe von Übereinstimmungen in der Rangfolge zwischen Standortmittelwerten und Standortböden finden. Nach der Zahl der Übereinstimmungen können die Merkmale in folgende Gruppen unterteilt werden:

- a) Übereinstimmung in jeweils 4 Fällen (also 100 %ig) bei Schluff, Grobsand, pH-Wert, N_t , C_t , AzKZ, NH_4 O. und 9. Tag;
- b) Übereinstimmung in 3 Fällen bei Wassergehalt, WK, Ton, Krümel $\leq 0,25$ und 2 - 1 mm, Hy, austb. K, DL K, C/N, Huminsäuren, Fulvosäuren, Rückstand, CeKZ, Pilze, StKZ, DHA, CO_2 , O_2 , NO_3 O. und 27. Tag, $NH_4 + NO_3$ O., 9. und 27. Tag;
- c) Übereinstimmung in weniger als 3 Fällen bei V-Wert, Ca + Mg, Na, DL P, BKZ, NH_4 27. Tag, NO_3 9. Tag.

Die Mehrzahl der Merkmale der verlagerten Böden hat sich also in mindestens 3/4 der geprüften Fälle, ein Teil sogar in allen vier Fällen, so verändert, dass diese Veränderungen als eine in den ersten Anfängen beginnende "Annäherung" der verlagerten Böden an die jeweiligen Standortböden angesehen werden können.

Vom Aspekt einer Annäherung der verlagerten Böden an die Standortböden lässt sich evtl. auch ein Schlüssel zum Verständnis der Wechselwirkung zwischen Boden und Standort finden. So wurde ja bereits an Beispielen der Tab. 22 - 31 (S. 75 - 105) hervorgehoben, dass die verlagerten Böden zu einem Teil uneinheitlich auf denselben Standort reagiert haben. Beispielsweise nahm in Völkensrode die DHA des Heidepodsoles zu, die der Rankerbraunerde und der Pararendzina aber nahm ab. Doch im Originalstandort lagen

Heidepodsol (Ss) tiefer, Rankerbraunerde (Ww) und Pararendzina (Bb) aber höher als Parabraunerde. Obgleich nun die Richtung der Verlagerung der Böden verschieden war, bedeutete sie in jedem Falle eine Annäherung an die Parabraunerde. Auf das Beispiel der Atmungsaktivität wurde bereits im Zusammenhang mit der Abb. 9, S. 89 - 90, hingewiesen. Als weiterer Fall sei noch auf die Pilze aufmerksam gemacht. Sie waren in dem jeweiligen Originalstandort des Heidepodsoles (Ss) und der Pararendzina (Bb) in wesentlich geringerer Zahl vertreten als in der Parabraunerde (Nn) und der Rankerbraunerde (Ww). Ww lag sogar noch schwach über Nn. Entsprechend stieg die Zahl der Pilze in Völkenrode nur bei Heidepodsol und Pararendzina. Bei anderen Merkmalen und Standorten zeigten die Böden aber auch wieder Veränderungen mit einheitlicher Tendenz, wobei dann aber häufig die Stärke sehr unterschiedlich war. Beispielsweise hatte Azotobacter in Lilienhof bei Parabraunerde (Nb) um über 1000 %, bei Rankerbraunerde (Wb) aber nur um ca. 350 % zugenommen. In vielen Fällen (AzKZ, DHA, CO₂ bzw. O₂, NO₃, AK, DL K und P) nahmen in Lilienhof die Werte bei den drei dorthin verlagerten Böden einheitlich in folgender Reihenfolge zu: Heidepodsol > Parabraunerde > Rankerbraunerde. Der Anstieg der Bodenkennwerte war demnach um so stärker, je weiter die Böden verlagert wurden. Vergleicht man aber den jeweiligen Verlagerungseffekt mit den Werten der umgelagerten Standortböden (I. Teil Tab. 10 und 11, II. Teil Tab. 26 und 27, S. 86/87), so wird deutlich, dass sich die verlagerten Böden um so stärker an den neuen Standortboden anpassten, je grösser die Unterschiede der betreffenden Merkmale waren. Analog war die DHA im Heidepodsol und in der Parabraunerde nur schwach und die Unterschiede zwischen beiden Böden unerheblich. Die DHA der Rankerbraunerde und der Pararendzina lag dagegen ca. 3 x so hoch. Dementsprechend sank in Lentförden die DHA nur der zuletzt genannten beiden Böden. Weitere Beispiele lassen sich aus den genannten Tabellen mühelos auffinden. Das heisst, dass selbst dann, wenn die Böden der Tendenz nach unterschiedlich in einem Standort reagiert haben, diesem Verhalten offenbar dennoch eine Gesetzmässigkeit zugrunde lag, die in der jeweiligen Annäherung zum Ausdruck kam.

Die "Annäherung" kann also in demselben Standort bei dem einen Boden eine Zunahme, bei dem anderen eine Abnahme der Kennwerte bedeuten, je nach dem Unterschied von Standortboden und verlagertem Boden.

In einigen Fällen zeigten sich aber keine Annäherungen, in anderen zumindest keine in der Rangfolge der durch die Standortböden gegebenen Unterschiede. Das dürfte auf spezifische Wechselwirkungen von bestimmten Boden- und Standortfaktoren beruhen. So war die Intensität der Veränderungen offenbar auch von den Bodeneigenschaften abhängig. Der stärkste Rückgang z.B. von Azotobacter in Lentfördrden wurde bei der Rankerbraunerde gefunden, obwohl in den jeweiligen Originalstandorten Pararendzina einen grösseren Gehalt aufwies als Para- und Rankerbraunerde. Nach dem oben besprochenen Grad der Veränderung in Abhängigkeit vom Unterschied zwischen Originalstandort und neuem Standort (bzw. Entfernung ?), hätte der stärkste Verlust bei Pararendzina erwartet werden müssen. Gerade an diesem Beispiel aber ist klar ersichtlich, dass der jeweilige Boden aufgrund seiner Beschaffenheit den neuen veränderten Bedingungen einen unterschiedlichen Widerstand entgegen zu setzen vermochte. So sank in Lentfördrden der pH-Wert von Pararendzina von durchschnittlich 7,86 auf nur 7,64, der von Rankerbraunerde aber von 6,24 auf 5,46. Pararendzina besitzt aufgrund ihres hohen Gehaltes an Carbonaten ein weit besseres Pufferungsvermögen als Rankerbraunerde. Da das Vorkommen von Azotobacter stark vom pH-Wert abhängt und bei Rankerbraunerde/Lentfördrden die kritische Grenze von pH 5,8 bereits unterschritten wurde, ist der stärkere Rückgang der AzKZ in diesem Boden erklärbar. Ähnlich wie die pH-Werte verhielten sich übrigens auch die DL-löslichen Nährstoffe P und K. Nach allen dargelegten Beispielen und auch nach anderen Fällen scheint also für die "Annäherung" der verlagerten Böden der Grad des Unterschieds in den Kennwerten ein massgebendes Kriterium zu sein wobei spezifische Wechselwirkungen der dargelegten Art (zwischen Bodeneigenschaften und Standortbedingungen) modifizierend gewirkt haben mögen. Dabei scheint die Entfernung zwischen ursprünglichem und neuem Standort, auf die schon hingewiesen wurde, rein zufällig mit der Stärke der Unterschiede parallel zu verlaufen.

Nun wurde geprüft, wie sich die Häufigkeit der Annäherungen auf die einzelnen Merkmale verteilt. Bei je Standort 3 eingelagerten Böden x 2 Teilstücke ergeben sich bei 4 Standorten insgesamt

24 Fälle. Die Zahlen der Fälle "mit Annäherung" wurden in der folgenden Tab. 40 wiedergegeben.

Tab. 40

Zahl der Fälle mit Annäherung der Merkmale verlagerter Böden an die Eigenschaften der Standortböden bei 24 möglichen Fällen

H ₂ O-Gehalt	23	austb. K	19	AzKZ	20
WK	19	" Na	16	BKZ	14
Ton	18	" Ca + Mg	11	CeKZ	16
Schluff	15	DL P	9	PiKZ	18
Grobsand	21	" K	19	StKZ	13
Krümml <0,25 mm	17	C _t	12	CO ₂	18
1 - 2 "	15	N _t	14	O ₂	18
pH	19	C/N	12	DHA	19
Hy	18	Huminsäuren	16	NH ₄ 9.Tag	20
AK	11	Fulvosäuren	12	NO ₃ 9.Tag	9
V-Wert	16	Rückstand	15	NO ₃ 27.Tg	15
Kartoffeler- träge	20	Stroherträge	16	Wurzelmas- se(Raps)	16
Kornerträge	22			Sprossmas- se(Raps)	15

Bei den meisten Merkmalen wurde eine hohe (z.B. AzKZ, PiKZ, DHA, CO₂, K, pH, Hy, WK, Ton, Grobsand), bei anderen (DL P, Ca+Mh, NO₃/9.Tag) eine geringere Quote gefunden. Die Erträge an den Standorten zeigten mit die höchsten Annäherungstendenzen. Die Spitze mit 23 von 24 Fällen aber nimmt der Wassergehalt ein, was sich aus dem einfachen Kausalzusammenhang mit der Standortfeuchtigkeit ergibt. Im Durchschnitt der in Tab. 40 aufgeführten Zahlen ergaben sich die folgenden Relativwerte:

physikalische	chemische	mikrobiologische	Ertrags-Merkmale	∅
76 %	60 %	68 %	74 %	70 %

Somit war im Durchschnitt in 70 % aller Fälle eine "Tendenz zur Annäherung" feststellbar.

2. Merkmale der Unterbodenschichten

Die relativen Veränderungen der Unterbodenschichten sind in Tab. 41 wiedergegeben. An Hand dieser Zahlen werden zusammenfassend zunächst die Hauptveränderungen und die wichtigsten Korrelationen dargelegt.

Wie schon bei den einzelnen Böden aufgezeigt wurde (vgl. Tab. 29 - 31), waren bei den Unterbodenschichten die Veränderungen im C-Gehalt offenbar von besonderem Gewicht, insbesondere in der untersten Schicht. Sie äusserten sich in Völkenrode und vor allem Erndtebrück in einer Abnahme, in Lentförden und besonders Lilienhof aber in einer Zunahme. Diese Tendenzen waren andeutungsweise bereits in den mittleren Schichten zu erkennen. Die Veränderungen hatten möglicherweise verschiedene Ursachen, auf die später eingegangen werden soll. Hier sei nur nochmals darauf hingewiesen, dass die AK und die Kationen Ca-Mg, ferner die BKZ und die DHA im wesentlichen die gleichen standortbedingten Rangfolgen in den beiden unteren Schichten aufwiesen wie der C-Gehalt. Zwischen dem C-Gehalt auf der einen und den genannten Merkmalen auf der anderen Seite bestand also offensichtlich (wie schon dargelegt) ein kausaler Zusammenhang, der dadurch erklärt werden kann, dass die organische Substanz für die Kationen als Träger- und für die Mikroorganismen als Nährsubstrat fungiert.

Der starke Rückgang von Azozobacter in den unteren Schichten der Standorte Erndtebrück, Völkenrode und insbesondere Lentförden (hierbei muss auf Abb. 23, S. 118, verwiesen werden, weil ein Relativwert wegen einiger Null-Werte nicht berechenbar war) könnte mit der in gleicher Rangfolge ansteigenden potentiellen Acidität (Hy) in Zusammenhang gestanden haben. Austauschbares Kalium zeigte eine besonders starke Abnahme in Lentförden in der mittleren Schicht (auch im Oberboden von allen Standorten stärkste Abnahme, vgl. Abb. 22), in Völkenrode aber in der untersten Schicht. Die gleichen Relationen zeigten S- und V-Werte. Möglicherweise bestand zwischen diesen Merkmalen insofern ein Zusammenhang, als der geringere Sättigungsgrad die Austauschbarkeit des Kaliums herabsetzte. Es sind also offenbar wie bei den Oberböden auch bei den Unterböden Auslöse- und Folgeaktionen zu unterscheiden.

Tab. 41

Relative Veränderungen der Merkmale der Unterbodenschichten
je Standort im Mittel der drei verlagerten Böden (GM in %)

		s	n	w	b
C _t	20-40	108	109	81	104
	40-60	135	88	78	177
pH	20-40	96	100	98	118
	40-60	99	96	96	121
Hy	20-40	131	111	107	43
	40-60	135	116	111	61
AK	20-40	94	104	94	124
	40-60	112	96	96	124
S-Wert	20-40	41	105	95	202
	40-60	103	85	93	233
V-Wert	20-40	46	101	101	163
	40-60	92	88	97	159
Ca+Mg	20-40	95	99	96	125
	40-60	113	87	82	158
K	20-40	61	108	96	118
	40-60	91	63	109	241
BKZ	20-40	79	105	26	335
	40-60	189	53	33	503
CO ₂	20-40	101	90	81	408
	40-60	79	61	66	440
DHA	20-40	81	106	52	198
	40-60	165	67	59	565

Anm.: Die Werte für Na und AzKZ waren wegen einiger Null-Ergebnisse nicht berechenbar, vgl. hierzu Abb. 22/23 und die Anhangstabellen 60 und 71.

Weiter ist nun zu prüfen, ob Annäherungen an die Standortböden auch bei den unteren Bodenschichten auftraten. Für diesen Vergleich werden wegen der geringeren Zahl der Untersuchungen nur die Standortmittelwerte herangezogen. Sie sind im Vergleich zu den Standortböden schon in den Abb. 20 - 23 des II, Teils (S.115 - 118) wiedergegeben. Daraus ergibt sich einerseits, dass die Aciditäts- und V-Werte der Standortmittel ein umgekehrtes Bild zeigen wie die der Standortböden selbst; denn von den Standortböden wiesen die der trockeneren Standorte (Parabraunerde in Völkenrode und Pararendzina in Lilienhof) und von den Standortmitteln die der feuchteren Standorte (Lentförhden und Erndtebrück)

eine mit der Bodentiefe sinkende Acidität auf. Der letzte Fall ist eigentlich der adäquate, wenn in Rechnung gestellt wird, dass die Basen aus der Krume ausgewaschen werden. Für das gegen-
teilige Verhalten der Standortböden selbst kann keine Erklärung
gegeben werden. In den Aciditätswerten ergibt sich also keine
Annäherungstendenz. Andererseits bestehen aber einige lockere
Übereinstimmungen im Gehalt an austb. Ca+Mg und K bei beiden
unteren Schichten sowie in der AK der untersten Schicht. Im Hin-
blick auf Na ergeben sich vor allem Parallelen in einer um so
stärkeren Anreicherung in den untersten Schichten, je weiter die
Standorte nach Süden liegen (s. Abb. 22).

Die mikrobiologischen Merkmale zeigen in der mittleren Schicht
keine, in der untersten Schicht aber eine gewisse Übereinstimmung
in der Rangfolge und zwar bei AzKE, BKE und CO_2 -Bildung. In eini-
gen Fällen zeigen die absoluten Werte aber keine Annäherung, z. B.
im C-Gehalt. Gerade beim C-Gehalt aber fällt auf, dass die unteren
Schichten eine Übereinstimmung zwischen Standortböden und Stand-
ortmittelwerten dann zeigen, wenn ihre relative Stellung zum
Oberboden als Basis angenommen wird. Daher erscheint es zweck-
mässig, bei den Unterbodenschichten diese Relationen auch zu ver-
gleichen. Hierfür wurden die Mittelwerte der Böden und der Stand-
orte relativ auf den Oberboden (=100) umgerechnet und in der
folgenden Tabelle 42 wiedergegeben. Die Zahlen zeigen, dass dort,
wo sich starke Unterschiede in den absoluten Werten der Standort-
mittelwerte ergeben hatten, insbesondere also in der Schicht 40 -
60 cm, die relativen Werte bei der Basis Oberboden mit Ausnahme des
C-Gehaltes die gleichen Tendenzen erkennen lassen wie die absoluten.
Bei der mittleren Schicht traten dagegen mehrmals durch die Relativ-
zahlen Verschiebungen in der Rangfolge ein, so dass z.B. im Falle
von Azotobacter nicht mehr Lilienhof, sondern Völkenrode die höch-
sten Werte (im Verhältnis zum Oberboden) aufwies. Dieses Bild stimmt
nun auch mit den Standortböden überein. Die Relationen zum Oberbo-
den zu vergleichen, scheint bei der Prüfung einer möglichen "An-
näherung" der Unterböden demnach der adäquate Weg zu sein. Dies
tritt besonders deutlich beim C-Gehalt hervor, der in den absolu-
ten Werten keine, in den relativen aber eine hohe Übereinstimmung
zwischen Standort und Standortböden zeigte. Auch im Einzelfall tritt
das klar hervor. Absolut gesehen enthielt z. B. die umgelagerte

Tab. 42

Vergleich der Merkmale verschiedener Bodentiefen von Standortböden und Standortmittelwerten in ihrer Relation zum Oberboden
(Im Mittel m. und o. Stalldung, Oberboden = 100 %)

Tiefe/cm		Standortböden				Standortmittel			
		Ss	Nn	Ww	Bb	s	n	w	b
pH	20-40	<u>98</u>	120	<u>98</u>	<u>97</u>	<u>102</u>	<u>103</u>	<u>105</u>	<u>99</u>
	40-60	<u>95</u>	124	<u>87</u>	<u>102</u>	<u>103</u>	<u>100</u>	<u>102</u>	<u>99</u>
Hy	20-40	106	<u>77</u>	<u>81</u>	<u>96</u>	<u>98</u>	<u>101</u>	<u>90</u>	114
	40-60	102	<u>42</u>	<u>89</u>	<u>86</u>	<u>90</u>	<u>105</u>	<u>77</u>	151
V %	20-40	<u>99</u>	142	<u>95</u>	<u>91</u>	<u>83</u>	<u>100</u>	<u>103</u>	<u>95</u>
	40-60	<u>94</u>	214	<u>74</u>	<u>103</u>	<u>100</u>	<u>99</u>	<u>107</u>	<u>96</u>
Ca+Mg	20-40	<u>98</u>	<u>91</u>	<u>69</u>	<u>109</u>	<u>89</u>	<u>89</u>	<u>91</u>	<u>95</u>
	40-60	<u>71</u>	<u>83</u>	<u>45</u>	<u>48</u>	<u>78</u>	<u>62</u>	<u>62</u>	<u>85</u>
K'	20-40	<u>55</u>	<u>51</u>	<u>55</u>	<u>89</u>	<u>61</u>	<u>66</u>	<u>61</u>	<u>68</u>
	40-60	<u>42</u>	<u>19</u>	<u>14</u>	<u>73</u>	<u>43</u>	<u>24</u>	<u>34</u>	<u>60</u>
Na	20-40	<u>112</u>	257	<u>153</u>	<u>+</u> ¹⁾	<u>100</u>	<u>134</u>	<u>236</u>	<u>283</u>
	40-60	<u>74</u>	243	<u>184</u>	<u>++</u>	<u>95</u>	<u>127</u>	<u>191</u>	<u>317</u>
AK	20-40	<u>98</u>	<u>91</u>	<u>73</u>	<u>121</u>	<u>93</u>	<u>98</u>	<u>94</u>	<u>99</u>
	40-60	<u>85</u>	<u>72</u>	<u>53</u>	<u>94</u>	<u>82</u>	<u>72</u>	<u>70</u>	<u>88</u>
S-Wert	20-40	<u>96</u>	129	<u>69</u>	<u>110</u>	<u>84</u>	<u>99</u>	<u>99</u>	<u>95</u>
	40-60	<u>80</u>	153	<u>38</u>	<u>97</u>	<u>82</u>	<u>70</u>	<u>73</u>	<u>85</u>
C _t	20-40	<u>94</u>	<u>80</u>	<u>65</u>	<u>86</u>	<u>85</u>	<u>92</u>	<u>82</u>	<u>90</u>
	40-60	<u>76</u>	<u>29</u>	<u>30</u>	<u>76</u>	<u>67</u>	<u>48</u>	<u>43</u>	<u>83</u>
AzKZ	20-40	<u>0</u>	118	<u>16</u>	<u>73</u>	<u>6</u>	<u>132</u>	<u>28</u>	<u>68</u>
	40-60	<u>0</u>	12	<u><1</u>	<u>57</u>	<u>1</u>	<u>19</u>	<u>4</u>	<u>44</u>
BKZ	20-40	109	<u>82</u>	<u>34</u>	<u>74</u>	<u>63</u>	<u>60</u>	<u>35</u>	<u>95</u>
	40-60	<u>50</u>	<u>17</u>	<u>8</u>	<u>29</u>	<u>37</u>	<u>13</u>	<u>11</u>	<u>41</u>
DHA	20-40	<u>118</u>	<u>53</u>	<u>43</u>	<u>70</u>	<u>55</u>	<u>77</u>	<u>41</u>	<u>63</u>
	40-60	<u>77</u>	<u>9</u>	<u>6</u>	<u>39</u>	<u>33</u>	<u>18</u>	<u>12</u>	<u>40</u>
CO ₂	20-40	<u>86</u>	<u>59</u>	<u>82</u>	<u>68</u>	<u>67</u>	<u>79</u>	<u>61</u>	<u>96</u>
	40-60	<u>70</u>	<u>43</u>	<u>48</u>	<u>50</u>	<u>48</u>	<u>44</u>	<u>39</u>	<u>81</u>

1) im Oberboden kein Na gefunden, in den unteren Schichten aber steigende Mengen

Rankerbraunerde in allen drei Bodenschichten mehr C_t als Pararendzina. Nach der Hypothese der Annäherung (wie sie im C-Gehalt der Krumen sehr häufig zu konstatieren war) hätte nun auf der Basis der absoluten Werte der C-Gehalt dieses Bodens in Lilienhof absinken müssen. Das war nun jedoch nicht der Fall, sondern er stieg an und zwar auf eine Höhe, die dem relativen Unterschied zwischen Krume und den unteren Schichten der Pararendzina (Bb) entsprach (s. nachfolgende Zahlen).

Tiefe	Standortböden				verlagerte Böden in Lilienhof		
	Ss	Nn	Ww	Bb	Sb	Nb	Wb
0 - 20	100	100	100	100	100	100	100
20 - 40	94	80	64	86	94	80	83
40 - 60	76	29	30	76	90	62	77

Die anderen Bodenarten verhielten sich ähnlich. Nur war diese Tendenz z.B. bei Heidepodsol schwach und zwar vermutlich deshalb, weil bei diesem Boden ohnehin ein von Natur aus enges Verhältnis zwischen Krume und den unteren Bodenschichten bestand. Bezeichnenderweise hatte andererseits von den nach Lentförden verlagerten Böden nur Pararendzina keine Zunahme im C-Gehalt der unteren Bodenschichten gezeigt. Entsprechend nahm gemäss dem weiten C_t -Verhältnis der Bodenschichten von Parabraunerde und Rankerbraunerde der C-Gehalt der nach Völkenrode und Erndtebrück verlagerten Böden ab, so dass sie wie jene etwas flacheründiger wurden. Das gilt nun in besonderem Masse für die untersten Schichten (vgl. Tab. 30 II. Teil, ferner die Tab. 7 - 9 und 12 - 13, I. Teil). Es wurde bereits darauf hingewiesen, dass sich mit gewissen Ausnahmen von Azotobacter und den Aciditätswerten die mikrobiologischen und chemischen Merkmale im wesentlichen parallel zum C-Gehalt verhielten. Da jene von der Menge der organischen Substanz stark beeinflusst werden, sind aller Wahrscheinlichkeit nach die für die Veränderungen im C-Gehalt verantwortlichen Faktoren als die eigentliche auslösende Ursache der Ergebnisse anzusehen. In der Regel veränderten sich die Merkmale der Unterbodenschichten so wie auch die der Oberböden um so stärker, je grösser die ursprünglichen Unterschiede zwischen den verlagerten Böden und den Standortböden waren.

Damit ist eine Annäherungstendenz auch bei den Unterbodenschichten gegeben.

Werden von den vier Werten der Standorte und der Standortböden jeweils die beiden niedrigsten Relativwerte miteinander verglichen (in Tab. 42 unterstrichen), so ergibt sich wie die folgenden Zahlen zeigen, mit Ausnahme der Acidität (hierauf wurde schon hingewiesen) ein relativ hoher Prozentsatz der "Annäherung", insbesondere in der untersten Schicht:

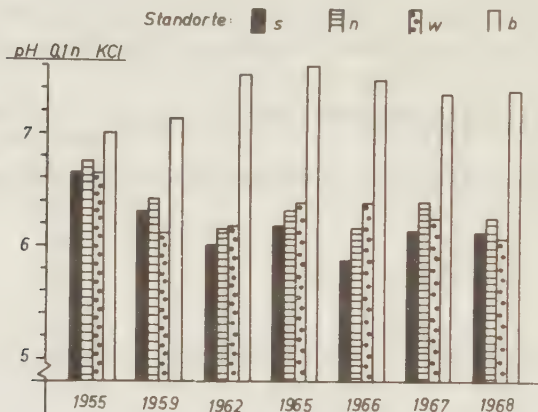
Merkmale	Zahl der möglichen Fälle	Zahl der Fälle mit Annäherung	
		20 - 40	40 - 60 cm
AzKZ, BKZ, CO ₂ , DHA	8	4	2
pH, Hy, V-Wert	6	4	0
C _t , AK, austb. K und Ca+Mg	8	5	7

F. Veränderungen der verlagerten Böden im zeitlichen Verlauf des Versuches

Alle zwischen 1962 und 1968 durchgeführten eigenen Untersuchungen auf biologische Merkmale liessen keine prinzipiellen Veränderungen in den Relationen der Standorte erkennen. Bei den chemischen Merkmalen hatten sich dagegen in den Jahren 1967 und 1968 gegenüber 1962/65/66 nochmals Veränderungen im pH-Wert gezeigt (Abb. 31). Sie deuten auf eine zunehmende Versauerung in Erndtebrück hin, denn die pH-Werte dieses Standortes sanken in der Rangfolge vom zweiten (1962) zunächst auf den dritten (1967) und dann auf den vierten (1968) Platz.

Abb. 31

Veränderungen der pH-Werte im zeitlichen Verlauf des Klimaver-
suches je Standort im Mittel von vier Böden m. und o. Stallung

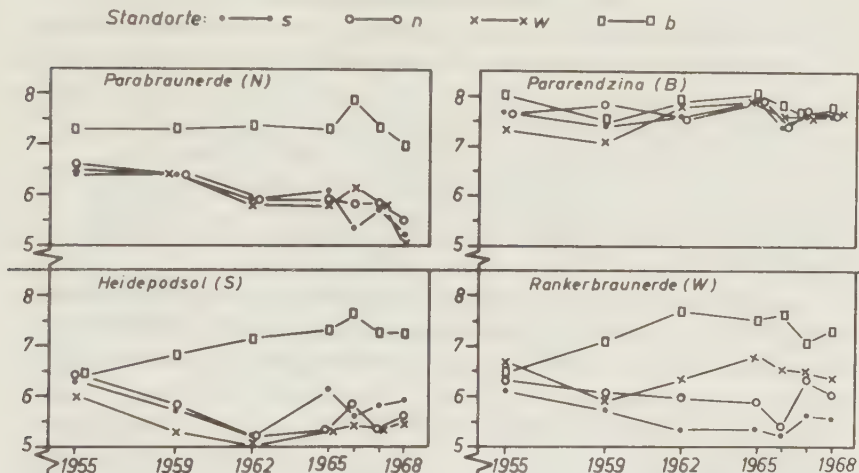


Nun lagen aber noch einige unveröffentlichte Untersuchungen aus der Zeit vor 1962 von GLATHE vor, die freundlicherweise zur Verfügung gestellt wurden und die hier mit berücksichtigt werden sollen. Dabei zeigt sich nun allerdings, dass Erndtebrück schon einmal 1959 den tiefsten pH-Stand aufwies und es muss deshalb die Frage offen bleiben, ob die angedeutete Tendenz der Jahre 1967/68 tatsächlich systematisch oder nur saisonal bedingt war. Lentfördrden und Völkenrode hatten eine stetige pH-Abnahme bis 1962 gezeigt, wobei Lentfördrden den tiefsten Stand aber erst 1966 aufwies. Demgegenüber liess Lilienhof bis 1965 einen stetigen Anstieg erkennen. Danach scheint sich bei diesen drei Standorten eine gewisse Balance eingestellt zu haben.

Das Verhalten der pH-Werte der einzelnen Böden geht aus Abb. 32 hervor.

Abb. 32

Veränderungen der pH-Werte der einzelnen Böden im zeitlichen Verlauf des Klimaversuches (im Mittel m. und o. Stalldung)



Schon 1955 wies Parabraunerde/Lilienhof einen pH-Wert von über 7 auf, der sich später kaum noch veränderte, während Heidepodsol und Rankerbraunerde hier einen stetigen Anstieg bis 1962 bzw. 1965 erkennen liessen. Überschwemmungen der Parzellen mit Lössmaterial der Umgebung wurden in den Versuchsprotokollen erstmals 1959 erwähnt. Nach den pH-Werten zu urteilen muss Parabraunerde hier jedoch schon mindestens seit 1955 Carbonate enthalten haben. In den übrigen Standorten war dagegen übereinstimmend bis 1962 bzw. 1965 eine stetige Abnahme der pH-Werte vor allem bei Heidepodsol, Parabraunerde und Rankerbraunerde zu erkennen. Das war aber auch bei den nur umgelagerten Böden der Fall. Aber Heidepodsol in Erndtebrück und Rankerbraunerde in Lentförden lagen deutlich tiefer im pH-Wert als im jeweils eigenen Standort. Auch Pararendzina zeigte anfänglich den tiefsten pH-Stand in Erndtebrück.

Später verwischten sich die Unterschiede. Jedoch lag auch bei diesem Boden der pH-Wert in den anderen Standorten meist tiefer als im eigenen Standort.

Die lediglich umgelagerte Rankerbraunerde (Ww), die gegenüber der nicht umgelagerten im allgemeinen deutlich verbesserte Eigenschaften aufwies (vgl. I. Teil), hatte bis 1959 noch eine Abnahme des pH-Wertes gezeigt. Erst ab 1962 stieg ihr Wert merklich an, der 1965 das Maximum erreichte. Es hat also etwa 10 Jahre gedauert, bis sich die Umlagerung dieses Bodens günstig (wahrscheinlich infolge stärkerer Verwitterung von reichlich vorhandenem Primärmaterial, vgl. I. Teil) auswirkte. Danach lag der pH-Wert bei Rankerbraunerde/Erndtebrück stets deutlich höher als bei Rankerbraunerde/Völkenrode und erst recht Lentföhrden.

Aus der Betrachtung des zeitlichen Verlaufes der pH-Veränderungen ergibt sich also, dass die feuchteren Standorte Lentföhrden und Erndtebrück die pH-Werte meist von Anfang an am stärksten gesenkt haben.

Von der Hy und der AzKZ (Abb. 33 und 34, vergl. auch Abb. 10)

Abb. 33: Veränderungen in der Hy je Standort im Mittel von vier Böden im Verlauf des Klimaversuches

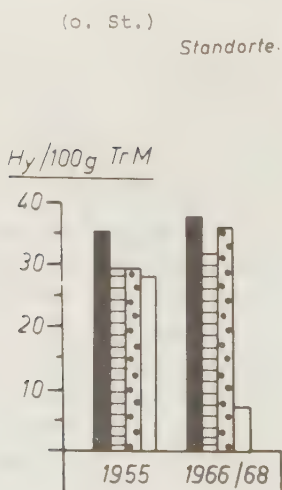
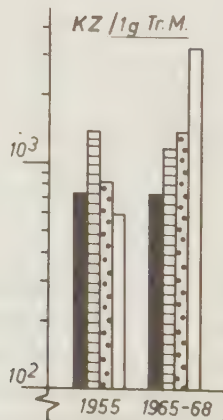


Abb. 34: Veränderungen im Gehalt an Azotobacter je Standort im Mittel von vier Böden im Verlauf des Klimaversuches



werden nur die Ergebnisse der Teilstücke o. St. dargelegt, weil vor 1962 nur diese untersucht worden sind.

Die Hy zeichnet sich dadurch aus, dass sie 1966/68 in Lentförden, Völkenrode und vor allem in Erndtebrück schon deutlich höher lag als noch 1955, in Lilienhof aber schon entschieden niedriger. Dieses Ergebnis steht weitgehend in Einklang mit den jeweiligen pH-Werten, insbesondere mit den ab 1959. In der Tendenz war der spätere Stand der Hy jedoch ebenfalls schon 1955 vorgezeichnet.

Azotobacter hatte demgegenüber 1955 noch ganz andere Relationen gezeigt als in der Zeit zwischen 1965 - 68. 1955 stand Völkenrode an erster Stelle und Lilienhof sogar an letzter, während 1965 - 68 in jedem Jahr eindeutig Lilienhof (vgl. Abb. 10) die höchsten und Lentförden die geringsten Keimzahlen aufwies. Völkenrode stand in der Rangfolge nun an zweitletzter Stelle. Die starke Vermehrung von Azotobacter in Lilienhof hat also erst nach 1955 eingesetzt. Während die AzKZ in Lentförden und Völkenrode in beiden Zeitabschnitten im Mittel nahezu unverändert blieb, ist sie in Erndtebrück nicht unerheblich angestiegen. Das überrascht, weil die Acidität zugenommen hat (Abb. 31 - 33). Auf diese Diskrepanz wurde schon bei der Besprechung der einzelnen verlagerten Böden Bezug genommen (II. Teil, A.). Die Tatsache, dass Azotobacter eine stärkere Zunahme bei allen Böden in Lilienhof erst nach 1955 erkennen lässt, steht im Falle von Heidepodsol und Rankerbraunerde im Einklang mit dem ebenfalls erst danach einsetzenden pH-Anstieg, im Falle von Parabraunerde aber nicht; denn dieser Boden hatte schon damals ein pH von über 7 aufgewiesen.

Zusammenfassend ist festzustellen, dass bei den beschriebenen drei Merkmalen bis spätestens 1962 eine grundsätzliche Veränderung nachweisbar war, danach nur noch partiell. Daraus ist zu schliessen, dass sich die entscheidenden Veränderungen der Böden schon in den ersten 10 Versuchsjahren vollzogen haben. Danach scheint es vorerst zu einem neuen Gleichgewicht gekommen zu sein.

G. Wirkung des Stallungs

Die Wirkung des Stallungs interessiert im Rahmen dieser Untersuchungen vorwiegend unter dem Aspekt der verschiedenen Standorte. Daher wurden die wichtigsten Merkmale nach Standorten geordnet und in der folgenden Tab. 43 zusammengestellt. Die Zahlen geben die relativen Abweichungen gegenüber o.St. an und stellen Mittelwerte

Tab. 43

Wirkung des Stalldüngs je Standort (o.St.=100) im Mittel von je 4 Böden

(GD = bei 5 = (+), 1 = (++) , 0,1% = (+++) , gesichert

Bodentiefe/cm		Lentförhden (s)	Völkenrode (n)	Erndtebrück (w)	Lilienhof (b)
pH	0-20	100,7-	101,1+	98,3++	100,5-
	20-40	101,9-	102,2+	99,8-	100,4-
	40-60	102,4-	100,2-	95,9+	99,4-
Hy	0-20	95,8-	104,9-	111,4+++	100,0-
	20-40	93,6-	100,2-	102,6-	117,2-
	40-60	103,0-	108,6-	113,3+	129,8+
AK	0-20	98,4-	101,6-	97,7-	98,0-
	20-40	106,1+	104,0-	95,2+	106,9++
	40-60	129,9+++	115,7++	116,2++	104,1-
V- Wert	0-20	93,0++	100,3-	93,3++	97,9-
	20-40	111,7+	109,8+	89,8+	104,8-
	40-60	115,8+	103,2-	99,7-	107,0-
Ca+	0-20	106,0-	109,9-	99,0-	100,8-
Mg	20-40	112,3++	106,3+	84,1-	113,5+++
	40-60	138,6+++	118,7-	93,5-	108,9-
K	0-20	135,3+++	136,1+++	99,2-	85,5+
	20-40	141,2	146,5	102,3	75,8 *)
	40-60	173,8++	125,9-	120,9-	76,9++
DL K	0-20	133,0+++	133,2+++	94,4-	96,8-
DL P	0-20	108,2-	118,4+++	97,5-	98,0-
C _t	0-20	102,9++	101,3-	101,5-	101,7-
	20-40	103,5-	108,8+++	96,1+	99,5-
	40-60	125,3+++	115,8+	91,9-	98,3-
N _t	0-20	101,1+	103,6+++	101,1+	103,8+++
C/N	0-20	102,1	101,3	102,8	100,7 *)
Humin-0-20 säuren		101,5-	113,7+	107,8+	101,8-
Fulvo-0-20 säuren		113,5+	106,7-	91,8-	103,8-
Rück- stand	0-20	95,3+	93,5++	99,8-	98,1-
BKZ	0-20	113,7+	91,9-	82,5++	98,1-
	20-40	144,7-	130,3-	80,4-	91,4-
	40-60	114,2-	143,1-	115,5-	141,3+++
AzKZ	0-20	94,0-	81,9-	82,8+	87,9+++
	20-40	58,1-	108,1-	60,4-	61,4+
	40-60	115,0-	372,3-	80,3-	44,7+

*) statistisch nicht berechnet

Fortsetzung Tab. 43

Bodentiefe/cm		Lentföhrden (s)	Völkenrode (n)	Erndtebrück (w)	Lillienhof (b)
CeKZ	0-20	158,9+	109,3	76,6	107,1
PiKZ	0-20	143,1+++	95,8	102,8	87,6
StKZ	0-20	134,0	95,1	88,0	100
CO ₂	0-20	104,4-	109,5++	96,8-	105,6++
	20-40	117,2+	109,7-	86,7-	94,9-
	40-60	204,4++	136,1-	95,7-	97,6-
DHA	0-20	119,7+++	119,7+++	95,5-	111,6+++
	20-40	141,7+++	148,0+++	107,4-	94,1-
	40-60	195,0+	163,1-	76,6-	75,9-
<u>NH₄-N:</u>					
9.Tag	0-20	108,2+	105,2	133,5+++	75,3
27.Tag	0-20	131,5	191,6	1343,5	200,0*)
<u>NO₃-N:</u>					
9.Tag	0-20	133,7+++	114,7++	97,5	104,0
27.Tag	0-20	111,9+	105,5	90,0+	94,0
Kartof- feln		106,0+++	99,6-	108,2+++	89,8+++
Hafer- Korn		103,1-	104,4-	98,8-	109,7-
Hafer- Stroh		102,3-	99,7-	103,2+	100,9-
<u>Wi-Raps:</u>					
Wurzel		107,1+	128,8+++	89,8+++	99,5-
Spross		103,0+	112,7+++	104,3+++	103,5+

*) statistisch nicht berechnet

aus allen Untersuchungen der jeweils in einem Standort liegenden vier Böden dar.

In den Oberböden wurden die Gehalte an C_t , N_t , NH_4 und Huminsäuren in allen Standorten in unterschiedlicher Stärke erhöht. Gleichzeitig wurde das C/N-Verhältnis etwas erweitert. Einen Rückgang bei allen Standorten oder keinen nennenswerten Ausschlag zeigten V-Wert, unlöslicher Humusrückstand und AzKZ. Die übrigen Merkmale haben je nach Standort unterschiedlich reagiert. Dabei wirkten Lentförden und Völkenrode vorwiegend positiv, Lilienhof und insbesondere Erndtebrück aber negativ. Die stärksten positiven Effekte in Lentförden und Völkenrode wurden bei den austb. Metallkationen, dem DL K und P, der CeKZ, der DHA und dem NO_3 -Gehalt gefunden. Demgegenüber zeigte Erndtebrück vor allem eine Erhöhung der Acidität und des NH_4 , aber bis auf C_t , N_t und Huminsäuren eine Abnahme aller anderen Merkmale. In Lilienhof war der Effekt des Stallungs teils etwas schwächer negativ als in Erndtebrück, teils aber auch positiv ($CeKZ$, CO_2 , DHA).

Vergleicht man hierzu die Wirkung des Stallungs auf die Unterbodenschichten, so ergeben sich weitere fundamentale Unterschiede zwischen den Standorten Lentförden und Völkenrode einerseits und Erndtebrück und Lilienhof andererseits. Dies kommt am deutlichsten im C-Gehalt zum Ausdruck. Während alle 4 Standorte beim Oberboden einen leichten Anstieg im C-Gehalt zeigen (der aber nur in Lentförden gesichert ist), war das Verhalten der unteren Schichten bei den jeweiligen beiden Standorten entgegengesetzt. In Lentförden und Völkenrode wird die Bilanz mit zunehmender Tiefe zunehmend günstiger, in Erndtebrück und Lilienhof aber wird sie ungünstiger. Jeweils ähnliche Tendenzen lassen AzKZ, CO_2 -Bildung und DHA erkennen. Weitere Unterschiede ergeben sich dadurch, dass die Acidität in Erndtebrück und Lilienhof nach der Tiefe zu stärker anstieg als in Lentförden und Völkenrode. Entsprechend zeigten AK und austb. Metallkationen auch in den unteren Bodenschichten von Erndtebrück und Lilienhof entweder negative oder aber doch schwächere positive Abweichungen auf der Stallungsseite als in Lentförden und Völkenrode.

Es zeigte sich also, dass Stallung allein in Lentförden und Völkenrode mit zunehmender Tiefe eine steigende C-Anreicherung bewirkt hat. Das war übrigens auch bei den nicht umgelagerten Böden dieser beiden Standorte der Fall.

Auch die Umlagerung hatte bei diesen beiden Böden eine C-Anreicherung bewirkt, insbesondere bei der untersten Schicht (Heidepodsol bis 173 %, Parabraunerde bis 147 %), während Rankerbraunerde nur noch in einem Fall, Pararendzina in keinem Fall mehr eine C-Anreicherung aufwies (vgl. Tab. 16). Sowohl die Lockerung der Böden als auch die Düngung mit Stalldung haben also offenbar nur dann zu einer Anreicherung der Unterbodenschichten mit organischer Substanz geführt, wenn zusätzlich entsprechende Standortbedingungen diesem Prozess Vorschub leisteten.

Tab. 44

C-Gehalt (% der Tr.M.) verschiedener Bodentiefen
(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	5,419	5,547	4,910	5,088	2,454	2,838
Ss	5,834	6,187	5,573	5,733	4,222	4,919
Sn	6,419	5,925	5,633	6,085	2,861	3,584
Sw	6,237	6,268	6,237	6,037	3,133	2,972
Sb	6,401	6,401	6,041	5,986	5,807	5,692
L	0,848	0,893	0,621	0,630	0,207	0,244
Ns	1,114	1,120	0,809	0,927	0,369	0,451
Nn	0,963	1,023	0,805	0,781	0,304	0,274
Nw	1,046	0,913	0,493	0,457	0,284	0,213
Nb	1,000	0,970	0,818	0,759	0,621	0,606
W	2,894	2,924	1,919	1,792	0,589	0,885
Ws	3,070	3,063	2,327	2,251	1,515	2,430
Wn	2,397	2,820	2,288	2,517	1,048	0,930
Ww	2,983	2,919	1,958	1,849	0,945	0,840
Wb	2,261	2,539	1,895	2,099	1,848	1,861
B	1,133	1,064	0,963	0,933	0,867	0,832
Bs	1,136	1,324	0,811	0,945	0,636	0,652
Bn	1,045	1,181	0,816	1,000	0,633	0,827
Bw	1,119	1,119	0,763	0,763	0,696	0,695
Bb	1,017	1,086	0,974	0,835	0,818	0,780

Auf die Erträge hatte sich der Stallung nicht so eindeutig ausgewirkt. Nur der Standort Lentförden, in dem der Stallung die stärksten positiven Wirkungen sowohl auf chemische als auch auf mikrobiologische Merkmale ausübte, zeigte einheitlich in allen Fällen auch höhere Erträge. Eine einheitlich positive Reaktion gab darüber hinaus im Gefäßversuch das Sprossgewicht von Wi-Raps zu erkennen, während das Wurzelgewicht nur in Lentförden und Völkenrode gesichert höher lag. Die Kartoffeln haben dagegen in den trockeneren Standorten entweder nicht (Völkenrode) oder sogar mit Mindererträgen (in Lilienhof hoch gesichert) reagiert. Sonderbarerweise war dann aber bei Haferkorn der Ertrag wieder höher, in den feuchteren Standorten aber entweder niedriger (Erndtebrück) oder nur geringfügig höher (Lentförden). Durch dieses differente Verhalten der Standorte lassen die Ergebnisse einen Zusammenhang zwischen Stallungswirkung und Klima in Abhängigkeit von dem Zeitfaktor vermuten. Möglicherweise wurde der Stallung in den trockeneren Standorten entweder nicht schnell genug umgesetzt oder (und) es wurde die Menge des nicht ausnutzbaren Bodenwassers erhöht, so dass in jedem Falle für die Nachfrucht Hafer noch reichlich Reserven aus dem Stallung zur Verfügung standen. Diese kamen dann aber nur dem Korn zu gute, denn Stroh zeigte etwas höhere Erträge nur in den feuchteren Standorten. Ein Zusammenhang der Stallungswirkung auf den Pflanzenenertrag mit der Standortfeuchtigkeit kann auch aus dem Wachstum des Wi-Raps im Gefäßversuch hergeleitet werden, da Stallung besonders günstig auf Böden aus Völkenrode wirkte (Wurzel 128,8%, Spross 112,7%). Hier würde dann die gleiche schon oben geäußerte Vermutung der ausschlaggebende Faktor gewesen sein: Mangel an Feuchtigkeit verhinderte die rasche Umsetzung des Stallungs, so dass Nährstoffreserven im Boden verblieben, die erst bei optimaler Feuchtigkeit im Gefäßversuch voll zur Auswirkung kamen. Wenn diese Vermutung zutrifft, ist bei Böden trockenerer Standorte auf eine so rechtzeitige Düngung (Herbst bis zum sehr frühen Frühjahr) zu achten, dass die Umsetzungen nicht durch Wassermangel behindert werden. Im Falle des Klimaversuches wurde in der Regel erst unmittelbar vor dem Umgraben bzw. vor der Pflanzung (meist nicht vor Anfang April) gedüngt, nach der dargelegten Hypothese für Völkenrode also eigentlich zu spät.

Weiterhin wurde eine allgemeine Bewertung der Stallungswirkung getrennt nach Boden und Standort durch Auszählung der Zahl positiver Veränderungen vorgenommen (Tab. 45). Hierbei wurden Krümel-

und Korngrößen sowie Na nicht berücksichtigt. Hydrolytische Acidität, Fulvosäuren und unlöslicher Rückstand wurden bei Zunahme negativ bewertet und umgekehrt.

Tab. 45

Wirkung des Stallungs je Boden und Standort nach der Zahl der positiven Abweichungen in % der Gesamtfälle

Tiefe/cm		umgelagerte und verlagerte Böden			
		Lentförden (s)	Völkenrode (n)	Erndtebrück (w)	Lillienhof (b)
0-20	Heidepodsol (S)	58	69	61	36
	Parabraunerde (N)	81	69	67	36
	Rankerbraunerde (W)	78	83	33	50
	Pararendzina (B)	69	56	28	42
	Ø	72	69	47	41
20-40	(S)	67	33	41	33
	(N)	67	75	50	41
	(W)	67	83	8	67
	(B)	83	83	17	50
	Ø	71	69	29	48
40-60	(S)	83	58	33	0
	(N)	75	75	75	83
	(W)	83	41	25	67
	(B)	50	75	58	50
	Ø	73	62	48	50

nicht umgelagerte Originalstandortböden

	Heide- podsol (S)	Para- braunerde (N)	Ranker- braunerde (W)	Para- rendzina (B)
0-20	75	67	25	50
20-40	25	67	8	41
40-60	75	41	67	58
Ø	58	58	33	50

Die Prozentsätze zeigen, dass die positiven Wirkungen des Stallungs auch in der Zahl der Fälle in Lentförden und Völkenrode häufiger waren als in Erndtebrück und Lilienhof. Die meisten negativen Effekte aber wurden eindeutig bei Rankerbraunerde in Erndtebrück selbst (W und Ww) gefunden. Schon bei der Besprechung der Einzelergebnisse wurde wiederholt darauf hingewiesen (vgl. I. Teil). Wie dort aus den Tab. 5 - 11 entnommen werden kann, hatten einen Anstieg in der Krume bei Rankerbraunerde nur die Merkmale N_t , C/N, Huminsäuren, unlöslicher Rückstand, PiKZ und NH_4 erkennen lassen. Besonders ungünstig war der Einfluss des Stallungs auf den pH-Wert (bei Ww von 6,50 auf 5,95) und auf die AzKZ (Abnahme bis auf 28 %). Dabei verhielten sich der Originalstandortboden (W) und der umgelagerte Standortboden (Ww) im Prinzip gleich. Die besonders negative Wirkung des Stallungs auf Azotobacter gab den Anstoß zu einem Gefäßversuch, bei dem Rankerbraunerde und im Vergleich dazu Parabraunerde verschiedene Mengen Stallung (entsprechend 0, 100, 200, 400 dz/ha) aus einer für den Klimaversuch verwendeten Menge erhielten. Der Versuch wurde nach 60 Wochen abgebrochen, weil bei keinem Boden weder eine Zunahme noch eine Abnahme der AzKZ eingetreten war. Unter günstigen Laboratoriumsbedingungen (25°C und 52 % max. WK) trat also keine Schädigung ein. Hierbei musste allerdings die kumulative Wirkung mehrerer Düngungen verteilt über mehrere Jahre unberücksichtigt bleiben. Dieses Ergebnis aber steht Resultaten aus anderen Gefäß- und Feldversuchen entgegen (z.T. unveröffentlicht, vgl. ferner REMY 1907, 1909; DÜGGELE 1924; CURIE 1931; AHRENS 1963 a, 1963 b), wo Azotobacter häufig negativ auf Stallung und auch andere organische Dünger reagiert hat. Offenbar spielen also auch Zusammensetzung und Zustand der organischen Dünger eine nicht unwesentliche Rolle. Beim Klimaversuch müssen insbesondere die Standortbedingungen eine entscheidende Wirkung gehabt haben, denn Lentförden und Völkenrode zeigten zumindest in den unteren Schichten z.T. eine Zunahme (allerdings eine nirgends gesicherte) der AzKZ auf Stallung, Erndtebrück und Lilienhof aber eine Abnahme (in 4 von 6 Fällen gesichert) in der Krume und in den untersten Schichten (Tab. 43).

Zusammenfassend sind im Mittel der 4 an einem Standort liegenden Böden die folgenden Hauptwirkungen des Stallungs zu konstatieren:

- a) schwache Anhebung des Gehaltes an C_t und N_t in der Krume aller Standorte ohne besondere Unterschiede;
- b) Rückgang der AzKZ in der Krume aller Standorte;
- c) Anhebung einer Reihe von Merkmalen in Lentfördrden und Völkenrode (insbesondere K-Gehalt, Cellulosezersetzerkeimzahl, Dehydrogenaseaktivität und NO_3 -Bildung), aber Verringerung der meisten Merkmale in Erndtebrück und Lilienhof, wobei die unteren Schichten diese jeweilige Tendenz verstärkt zeigten;
- d) besonders ungünstige Wirkungen auf Rankerbraunerde im Originalstandort Erndtebrück;
- e) uneinheitliche Wirkung auf Erträge und Pflanzenwachstum, wobei Lentfördrden als einziger Standort in allen Fällen eine Förderung durch Stalldung zeigte. Die stärkste positive Wirkung auf das Rapswachstum (im Gefäßversuch) zeigten dagegen die Böden aus Völkenrode.

Die meist mit der Schichttiefe noch zunehmenden positiven Wirkungen des Stalldungs in Lentfördrden und Völkenrode und die häufig zunehmend negativen in Erndtebrück und Lilienhof korrespondieren jeweils mit einem im Verhältnis zu o.St. höheren bzw. niederen C-Gehalt, so dass in der unterschiedlichen C-Bilanz eine der Hauptursachen für das verschiedene Verhalten der Unterbodenschichten gesehen werden kann. Im Oberboden zeigte sich aber kein nach Standorten typischer Unterschied im Gehalt an C_t , dennoch aber in den meisten anderen Merkmalen. Daher müssen noch andere Abhängigkeiten bestehen haben, auf die noch einzugehen sein wird.

Für die Anreicherung des C_t unter Stalldung in den unteren Schichten der Standorte Lentfördrden und Völkenrode können vorwiegend drei Ursachen verantwortlich gewesen sein:

- a) Translokation löslicher organischer Stoffe durch Niederschlagswasser,
- b) Translokation organischer Stoffe durch Tiere,
- c) verstärkte Wurzelbildung in den Unterbodenschichten und evtl. vermehrte oberirdische Pflanzenrückstände.

Da im Oberboden kein Verdünnungseffekt erkennbar war (im Gegenteil), muss mit den unter c) genannten Faktoren gerechnet werden. So zeigten beispielsweise auch beim Wi-Raps im Durchschnitt nur die Böden aus Lentfördrden und Völkenrode eine gesichert höhere

Wurzelmasse auf der Stallungsseite. Da der Wi-Raps unter einheitlichem Klima im Gewächshaus herangezogen wurde, kann unter der Voraussetzung eines Zusammenhangs zwischen diesem Ergebnis und der C-Anreicherung in den Standorten nicht die aktuelle klimatische Situation, sondern nur der durch den jeweiligen Standort nachhaltig veränderte Bodenzustand verantwortlich gewesen sein. Da sich der Bodenzustand auch in der Krume bei vielen Merkmalen standortabhängig verändert hat, ist zunächst an einen nach Standorten unterschiedlichen Verlauf der Umsetzungen des Stallungs zu denken. Der wiederum war offenbar nicht unabhängig von der Bodenart, weil in Erndtebrück insbesondere Rankerbraunerde (Standortboden) so ausgesprochen ungünstig auf Stallung reagiert hat, ganz im Gegensatz zur Umlagerung. Dominierend aber scheint der Standort gewirkt zu haben, weil der gleiche Boden in Lentförden und Völkenrode mit die meisten günstigen Reaktionen aufwies. Andererseits hatte in Erndtebrück Pararendzina häufiger negativ auf Stallung reagiert als Heidepodsol und Parabraunerde, darüberhinaus auch gegenüber dem eigenen Standort in Lilienhof (Tab. 45). Da Rankerbraunerde und Pararendzina den höchsten Tongehalt aufweisen, Ton die mikrobiologischen Umsetzungen durch eine teilweise Inaktivierung der Enzyme zu verzögern vermag (ALEXANDER 1961), hat möglicherweise die in Erndtebrück vorliegende Kombination Tongehalt, hohe Feuchtigkeit (dadurch stärkere anaerobe Bedingungen) und kühle Temperaturen die Umsetzungen des Stallungs verzögert und dadurch in eine solche Richtung gebracht, die die Bildung von sauren Zwischenprodukten förderte. Tatsächlich waren die pH-Werte in Erndtebrück gesunken. Geringere pH-Werte bedeuten gleichzeitig eine geringere Bereitschaft zur Humifizierung und die Bildung niedermolekularer organischer Verbindungen, die wegen ihrer Löslichkeit rasch der Verlagerung in tiefere Bodenschichten anheimfallen. Da in Erndtebrück bei der gegebenen geologischen Beschaffenheit (Hangschuttverwitterung, s.I. Teil) der Untergrund stark durchlässig ist, und die Niederschläge mit 1213 mm/Jahr sehr hoch sind, könnte der unter Stallung mit zunehmender Tiefe abnehmende C-Gehalt (Tab. 44) auch eine Folge starker Auswaschungsverluste gewesen sein.

Für die ebenfalls häufig ungünstigen Wirkungen des Stallungs in Lilienhof müssen andere Ursachen vorgelegen haben, da andere Standortbedingungen (wärmer, schwach alkalische Reaktion in allen Böden durch die Carbonateinschwemmung und keine zu hohen Niederschläge)

als in Erndtebrück herrschen. Hier könnten die Umsetzungen u. U. deswegen sogar zu rasch verlaufen sein, so dass zusätzlich noch wertvolle Bodenhumine angegriffen wurden. Zu rasche Umsetzungen können diesen Effekt auslösen, wie er insbesondere nach leicht umsetzbaren Gründüngern beobachtet wurde (BROADBENT 1949, HALLAM und BARTHOLOMEW 1953). Intensive Umsetzungen bewirken auch eine hohe Produktion von H-Ionen. Während Erndtebrück unter Stalldung vor allem eine Zunahme der aktuellen Acidität (pH) erkennen liess, (möglicherweise bedingt durch die vermuteten sauren Zwischenprodukte), zeigte Lilienhof eine von allen Standorten am stärksten angestiegene potentielle Acidität (Hy). Sie könnte eine Folge besonders intensiver Umsetzungen gewesen sein. Zusätzlich ist die in Lilienhof beobachtete starke Regenwurmtätigkeit (sicherlich auch eine Folge der Carbonate) zu erwähnen, die u.U. eine Verfrachtung organischer Substanz in noch tiefere Bodenschichten als 60 cm bewirkt hat.

Demgegenüber scheinen die Umsetzungen des Stalldungs in Völkenrode und Lentföhrden mehr in einer günstigen Richtung verlaufen zu sein. In Völkenrode wurden die Umsetzungen wie in Erndtebrück möglicherweise auch verzögert, aber nicht durch zu hohe Feuchtigkeit und zu geringe Temperaturen, sondern eher durch Mangel an Feuchtigkeit. Unter solchen Bedingungen aber sind kaum saure Zwischenprodukte, dagegen mehr stabile Huminstoffe zu erwarten. Tatsächlich zeigte Völkenrode gegenüber "ohne Stalldung" von allen Standorten die höchste Zunahme an Huminsäuren, die im allgemeinen als Index für günstige Humus-Umsetzungen gelten.

In Lentföhrden herrscht gegenüber Erndtebrück ein wesentlich milderer Klima. Obwohl der Bodenwassergehalt mit der höchste war (vgl. I. Teil), sind die Umsetzungen, möglicherweise aufgrund der höheren Temperaturen insbesondere zur Frühjahrszeit, auch hier nicht ungünstig verlaufen. Dass durch die Art der Umsetzungen am Ende nicht nur die Krumen, sondern auch die unteren Bodenschichten beeinflusst werden, liegt wegen der Verlagerung der Abbauprodukte auf der Hand. Für den unter Stalldung angestiegenen C-Gehalt in den unteren Bodenschichten aller Böden in Lentföhrden könnte neben der Förderung der Pflanzenwurzeln aber auch noch ein gewisser Gegenstau durch das relativ hoch anstehende Grundwasser verantwortlich gewesen sein.

Die allgemein günstige Wirkung des Stallungs in Lentförden vordringlich auf das Klima zurückzuführen, widerspricht nun aber den Befunden von KÖHNLEIN und BERGT (1968), die bei anderen Versuchen in dem gleichen Klimagebiet eine klare Abhängigkeit der Stallungswirkung auf die Erträge von der Bodenart feststellen konnten. So wirkte Stallung auf Heidepodsol/Lentförden wie eine Gabe von 60 kg, auf Parabraunerde/Schaedtbeck wie eine Gabe von nur 30 kg N-Handelsdünger (im Vergleich zu "ohne Stallung", wo eine mineralische Ausgleichsdüngung gegeben wurde). Wie die folgende Tab. 46 zeigt, waren beim Klimaversuch wohl bei der einzelnen Frucht, nicht aber grundsätzlich gravierende Unterschiede zwischen den in Lentförden liegenden Bodenarten aufgetreten.

Tab. 46

Wirkung des Stallungs in Lentförden bei verschiedenen Bodenarten
(ohne Stallung = 100)

	Heidepodsol	Parabraunerde	Rankerbraunerde	Pararendzina
Kartoffeln	107,8	107,4	107,3	101,6
Haferkorn	96,8	101,7	102,0	111,0
Haferstroh	94,2	103,7	106,3	105,0
Rapswurzel	128,3	105,6	98,4	103,4
Rapsspross	116,4	105,8	103,7	88,7

Wie weit daher allein die lokalen Standortbedingungen beim Klimaversuch (s. I. Teil A. - C.) ausschlaggebend waren, ist nicht abschätzbar, aber doch in Rechnung zu stellen. Dabei bleibt nun ein merkwürdiger Widerspruch zur Bildung des Heidepodsols selbst bestehen, der mit seinem hohen Gehalt an relativ saurem Rohhumus gerade ein Produkt ungünstiger Umsetzungsbedingungen ist. Es bleibt ferner der Widerspruch bestehen, dass unabhängig vom Stallung die nach dem Standort Lentförden verlagerten Bodenarten dort häufig stark ungünstig beeinflusst wurden, was auf ungünstige

Bedingungen dieses Standortes schliessen liess. Für die Entstehung des Heidenpodsoles ist jedoch ein N-armiger und saurer Bestandesabfall (Nadellaub, Heidekraut, s. I. Teil) mit verantwortlich, so dass in diesem Falle kein Vergleich mit dem wesentlich "harmonischer" zusammengesetzten Stalldung möglich ist. Weil nun aber in diesem Standort eine offenbar durch mehrere Faktoren veranlasste Tendenz zur Rohhumusbildung besteht, wirkt möglicherweise eine Substanz, die biologisch günstigere Voraussetzungen mitbringt, gerade deshalb besonders ausgleichend.

Kononowa (1961) fand bei Stallmistdüngung vor allem unter humiden, Ansorge (1957) auch unter ariden Bedingungen eine Erhöhung des Humusgehaltes im Unterboden. Beide Autoren führen diese Anreicherung auf Verlagerungsvorgänge zurück. Im Klimaversuch wurde eine C-Anreicherung in den unteren Schichten nur in Lentförden (bis 125 %) und in Völkenrode (bis 116 %) beobachtet. Wie oben bereits angedeutet, könnte diese Anreicherung durch ein durch Stalldung verstärktes Wurzelwachstum noch gefördert worden sein. Dafür spricht, dass die Menge der austb. Metallkationen, die als Nährstoffe für die höhere Pflanze in Frage kommen, ebenfalls in den Stalldungparzellen nur dieser beiden Standorte beträchtlich erhöht wurden. Zwischen Ursache und Wirkung ist dabei allerdings nicht zu unterscheiden. Die Verringerung des Humusgehaltes in den anderen beiden Standorten wurde im Falle Erndtebrück mit der Auswaschung niedermolekularer saurer Verbindungen, im Falle Lilienhof mit zu intensiver Umsetzung bzw. sehr tiefer Verfrachtung zu erklären versucht.

Da Verlagerungsvorgänge irgendwelcher Art in jedem der hier untersuchten Standorte vorausgesetzt werden können, kommt zusätzlich vermutlich dem jeweiligen Durchlässigkeitsgrad des Untergrundes, auf dem die umgelagerten bzw. verlagerten Böden liegen, eine hohe Wahrscheinlichkeit der Wirkung auf das jeweilige C-Verhalten der Unterbodenschichten zu.

Die Abhängigkeiten der Stalldungwirkung von spezifischen Standortbedingungen konnten vornehmlich nur hypothetisch erörtert werden. Eine endgültige Klärung der Zusammenhänge wäre wohl erst möglich, wenn die Umsetzungen und die Veränderungen über mehrere Jahre auch unmittelbar an den Standorten verfolgt werden könnten. Darüberhinaus wären vor allem weitere chemische und biochemische Untersuchungen an allen drei Bodenschichten und evtl. am Untergrund mit dem

vordringlichen Ziel einer eingehenden Fraktionierung der organischen Substanzen notwendig. Schliesslich wäre eine genaue Bilanzanalyse aus den Pflanzenrückständen, der Zufuhr (des Düngers) und dem Abbau der organischen Substanz aufzustellen.

Die Tatsache, dass der Stalldung in Abhängigkeit vom Standort so gravierend unterschiedliche Wirkungen hervorzurufen vermag, wird für besonders bedeutsam gehalten und fordert schon deshalb zu neuen Untersuchungen auf, weil für die Praxis der Anwendung organischer Dünger in Abhängigkeit vom Standort offenbar erweiterte Gesichtspunkte erarbeitet werden müssen. Sie betreffen, in Abhängigkeit vom Standort gesehen, m.E. die folgenden Kriterien: Zeitpunkt, Ausbringungsart, Menge und Zustand. So ist z.B. denkbar, dass für stark feuchte (wie hier Erndtebrück) oder "hitze" (Lilienhof) Standorte ein stark humifizierter bzw. sogar vererdeter Stalldünger besonders zweckmässig ist, weil dieser als "Fertighumus" ausgebrachte Dünger keiner stärkeren Auswaschung und Umsetzung mehr unterliegt. Auch könnte man hinsichtlich dieser Standortbeispiele in der Flächenkompostierung (im Sinne von SAUERLANDT, 1961) eine sehr vorteilhafte Methode sehen.

D i s k u s s i o n

=====

In dieser Arbeit wurde die Frage gestellt, von welcher Art Wirkung relativ geringe klimatische Unterschiede, wie sie innerhalb der Bundesrepublik herrschen, auf einige wichtige Bodenmerkmale sind, und ob sie sich schon nach relativ kurzer Zeit nachweisen lassen. Die Grundlage zu diesen Untersuchungen bildete ein durch die Initiative von GLATHE im Jahre 1952 angelegter sogenannter "Klimaversuch", wobei vier verschiedene Bodenarten aus vier verschiedenen Standorten (Heidenodsol aus Lentförden/Schleswig-Holstein, Parabraunerde aus Völkenrode/Niedersachsen, Rankerbraunerde aus Erndtebrück/Westfalen und Pararendzina aus Lilienhof/Baden) gegenseitig schichtweise (0 - 20, 20 - 40, 40 - 60 cm) verlagert wurden.

Den Hauptgegenstand der Untersuchungen bildeten mikrobiologische Merkmale. Da das Klima jedoch auch die chemischen Eigenschaften des Bodens beeinflusst, und zwischen chemischen und mikrobiologischen

Merkmale enge Wechselbeziehungen bestehen, mussten auch chemische Untersuchungen einbezogen werden. Der Wirkkomplex erweiterte sich in beträchtlichem Masse dadurch, dass Pflanzen angebaut wurden (Kartoffeln und Hafer), die nun auch ihrerseits über den Weg klimatischer Faktoren unterschiedliche Einflüsse auf die Böden auszuüben vermochten. Hinzu kommt, dass die Verlagerung zwangsläufig eine Strukturveränderung bedeutete, die sich nach Untersuchungen des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung der Universität Giessen (interner Bericht) noch im Jahre 1972 vor allem in einer Erhöhung des Grobporenvolumens, des Redoxpotentials und in einer grösseren Lockerheit nachweisen liess.

Daher wurden die zum Vergleich dienenden jeweiligen Standortböden in gleicher Weise wie die verlagerten ausgehoben und wieder wie ursprünglich eingelagert. Bei Ortswechsel wird daher von "Verlagerung", beim gleich behandelten Standortboden von "Umlagerung" gesprochen. Der Umlagerungseffekt wurde bereits im I. Teil diskutiert. Da ferner die Versuchsparzellen bis auf die obersten 10 cm in unmittelbarem Kontakt mit dem Untergrund und dem Seitenprofil des jeweiligen Originalstandortbodens stehen, ist auch mit unmittelbaren pedogenen Umgebungseinflüssen zu rechnen. Aufgrund der Versuchsanordnung ergibt sich also eine Vielzahl von Faktoren und es ist von vornherein nicht möglich, die direkten atmosphärisch-klimatischen Wirkungen von den sekundären Folgewirkungen (z.B. über die Pflanzen und den jeweiligen Grundwasserspiegel) und den speziellen Umgebungseinflüssen des Standortes streng zu trennen. Abgesehen von diesem komplexen Zusammenspiel zahlreicher verschiedener Faktoren, stand der Autor vor dem Problem, die Gebiete der Bodenkunde, des Pflanzenbaues und der Klimatologie ebenso zu überschauen wie sein eigentliches Fach, die Mikrobiologie. Das war schon aus zeitlichen Gründen nur sehr unvollkommen möglich. Trotzdem wurde versucht, wenigstens die Hauptvektoren des Gesamtkomplexes zu analysieren und ihre möglichen Wirkungen an den Merkmalsänderungen zu prüfen. Generell sei hier schon darauf hingewiesen, dass nahezu alle geprüften chemischen, physikalischen und mikrobiologischen Merkmale unter den jeweils neuen Standortbedingungen mehr oder weniger verändert wurden. Nun ist der Nachweis von Wirkungen immer eng an die Auswahl entsprechender Methoden geknüpft. Diese ergeben

sich zunächst aus der Fragestellung. Des weiteren sind Aussagekraft der Methoden und die sich daraus ergebenden Interpretationsmöglichkeiten entscheidende Voraussetzungen nicht nur Wirkungen, sondern auch deren Ursachen aufzudecken. Das ist um so schwieriger, je mehr Faktoren hereinwirken. Besondere Schwierigkeiten bieten die mikrobiologischen Methoden. So kann beispielsweise bei der quantitativen Ermittlung von Organismengruppen einerseits davon ausgegangen werden, dass die Zahl der Keime Ausdruck der Standort-, Boden- und Ernährungsbedingungen ist. Dem steht aber der Unsicherheitsfaktor des Vorkommens von Dauerformen gegenüber, die im kulturellen Nachweisverfahren als lebende Keime erscheinen, die aber womöglich aus lange zurückliegenden aktiven Stadien stammen. In der Gegenüberstellung der Ergebnisse von naturfeuchten, getrockneten und wiederbefeuchteten Proben, wie sie in dieser Arbeit praktiziert wurde, scheint aber ein Weg zu liegen, auf dem die nachgewiesenen Keimzahlen gesicherter interpretierbar sind, insbesondere im Hinblick auf verschiedene Standortherkünfte. Ebenso differenziert sind Umsetzungsprozesse zu betrachten. Einerseits lassen sich Umsetzungen an den Produkten des Endstoffwechsels (z.B. CO_2 , NH_4 , NO_3), andererseits an den beim Stoffwechsel beteiligten Enzymen messen. Im ersten Fall besteht die Schwierigkeit darin, dass ein Teil der Endprodukte sofort wieder zum Aufbau von Organismen oder von Syntheseprodukten Verwendung findet und sich so der Erfassung entzieht. Das ist z.B. beim NH_4 und NO_3 der Fall. Desgleichen zeigt die CO_2 -Abgabe nur einen Teil der umgesetzten C-Verbindungen an, weil ein anderer Teil gleich für Synthesezwecke (So werden beim Abbau von Cellulose ca. 20 - 30 % des Kohlenstoffs zunächst wieder in den sich vermehrenden Organismen festgelegt) benötigt wird. Bei den Enzymen ist einmal nach konstitutiven und adaptiven, zum anderen nach stoff- (z. B. Proteasen, Ureasen, Amylasen u. a.) und funktionsspezifischen (Hydrolasen, Transferasen, Redoxasen) Arten zu unterscheiden. Schon aus dieser Gegenüberstellung ergibt sich, dass ein mikrobiologisches Merkmal allein niemals repräsentativ den biologischen Zustand bzw. die "biologische Bodenaktivität" wiedergeben kann, was nicht immer deutlich genug gesehen wird (vgl. RAWALD 1970, KUNZE 1970). Hinzu kommen noch

Probleme der Versuchsdurchführung insofern, als bei biologischen Systemen der Zeitfaktor in Rechnung zu stellen ist. Daraus ergeben sich dann unter Berücksichtigung von Reaktionsgeschwindigkeit und Reaktionsdauer Fragen nach kontinuierlichen bzw. punktuellen Analysemethoden sowie nach der Bedeutung und Wirkung von Umweltfaktoren vor der Untersuchung. Im letzten Falle ist vor allem an Adaptionsfunktionen (KOEPP 1953, PRECHT 1955) zu denken. Aus all diesen Gründen wurde es für notwendig erachtet, 1. Untersuchungen in verschiedenen Zeitabschnitten zu wiederholen und 2. immer mehrere Kriterien auf einmal zu prüfen. Dabei waren sowohl verschiedene Keimgruppen als auch Umsetzungsaktivitäten eingeschlossen. Über die Auswahl eines solchen Spektrums gibt es keine einhellige Meinung und es kann sie auch nicht geben, weil jeder Fall anders liegt. Die Auswahl der in dieser Arbeit herangezogenen Kriterien richtete sich bei den Keimzahlen nach der Differenzierung in Form-, Milieu- und Leistungsgruppen, bei den Umsetzungen in Endstoffwechselprodukten (CO_2 , NH_4 , NO_3) und einem "overall enzyme test" (PAULI 1965), der sogenannten Dehydrogenaseaktivität. Erweiterungen wären sicherlich sinnvoll gewesen, waren aber durch die gegebene Arbeitskapazität nicht möglich. Ob eine andere Auswahl der Kriterien zu noch besseren Einblicken in die mikrobiologische Dynamik geführt hätte, muss dahingestellt bleiben. Es kann jedoch als gesichert betrachtet werden, dass die getroffene Wahl schon eine detaillierte Charakterisierung der unter den verschiedenen Standorten veränderten Bodeneigenschaften möglich machte.

Die Böden sind bereits durch die Typenbezeichnung charakterisiert. Heidepodsol enthielt mit 6 % C_t den höchsten Humusgehalt, das weiteste C/N-Verhältnis und vor Rankerbraunerde den niedrigsten pH-Wert (5,80). Den zweithöchsten Humusgehalt mit 2,7 % C_t enthielt Rankerbraunerde. Der pH-Wert lag hier knapp über dem des Heidepodsols und das C/N-Verhältnis war normal. Den geringsten Humusgehalt enthielten mit knapp über 1 % C_t Parabraunerde und Pararendzina. Parabraunerde enthielt ein pH von 6,5, Pararendzina wegen ihres hohen Carbonatgehaltes ein pH von 7,8. In Übereinstimmung mit den chemischen Eigenschaften der Bodenarten ergab sich nach der Umrechnung auf eine Einheit C_t in der Keimzahlhöhe und der biologischen Aktivität die folgende hohe Differenzen aufweisende Rangfolge: Pararendzina > Parabraunerde > Rankerbraunerde > Heidepodsol (vgl. I. Teil). Heidepodsol war also am wenigsten, Pararendzina

am stärksten belebt bzw. biologisch aktiv.

Obgleich sich aus den vorhandenen Daten des Luftklimas auch eindeutige klimatische Unterschiede ergaben, ist es aufgrund spezieller Standortbedingungen (Durchlässigkeit des Untergrundes, Höhe des Grundwassers, Mikroklima) schwierig, z.B. eindeutig den feuchtesten und trockensten Standort zu bestimmen. Je nach den Kriterien ergaben sich jeweils die folgenden Rangfolgen:

Niederschlagshöhe: Erndtebrück > Lentföhrden > Lilienhof > Völkenrode

Regenfaktor : Erndtebrück > Lentföhrden > Völkenrode $\approx$ Lilienhof

durchschnitt-
licher Wasser-
gehalt der
Böden

: Lentföhrden > Erndtebrück > Lilienhof > Völkenrode.

Obgleich Erndtebrück einen doppelt so hohen RF aufwies wie Lentföhrden, waren die Böden aus Lentföhrden meistens am feuchtesten. Da hier der Grundwasserspiegel relativ hoch ansteht (s. I. Teil), Erndtebrück andererseits einen durchlässigen Untergrund (Hangschutt) aufweist und im Gegensatz zu Lentföhrden ungehinderter Luftbewegung ausgesetzt ist, waren die Böden aus Lentföhrden vermutlich länger und stärker "Befeuchtet", wenn auch nicht stärker "durchfeuchtet". Schon in diesen beiden Begriffen kann ein erheblicher Gegensatz liegen. Tatsächlich zeigten die Böden aus Lentföhrden meist die höchste Acidität und gleichzeitig die stärkste Abnahme an DL K und P sowie eine erhebliche Verschlechterung der von diesen Bodenfaktoren besonders abhängigen mikrobiologischen Merkmale (Azotobacter, Dehydrogenasaktivität, NO_3 -Bildung). Andererseits bestand zwischen Völkenrode und Lilienhof in den Niederschlägen und im RF praktisch kein gewichtiger Unterschied, und dennoch scheint aufgrund des durchschnittlichen Wassergehaltes und der örtlichen Gegebenheiten des Standortes Lilienhof (Druckwasser und Zuflusswasser von höheren Lagen, zeitweiliger Schatten, dichter Untergrund wegen höheren Ton- und Schluffgehaltes, vgl. I. Teil, Abschn.F) hier eine etwas stärkere Befeuchtung geherrscht zu haben als in Völkenrode. In der durchschnittlichen Jahrestemperatur war dagegen eindeutig die folgende Rangfolge gegeben: Lilienhof > Völkenrode > Lentföhrden > Erndtebrück. Dabei ist noch in Rechnung zu stellen, dass eine höhere Bodenfeuchtigkeit temperaturnausgleichend wirkt.

Eindeutige Unterschiede gab es jedoch zwischen jeweils zwei Standorten: Lentföhrden und Erndtebrück als die feuchteren und kühleren auf der einen, und Völkenrode und Lilienhof als die wärmeren und trockeneren auf der anderen Seite. Diese klimatisch jeweils ähnlich gelagerten

Standorte zeigten dann bei verschiedenen Merkmalen auch ähnliche allgemein bekannte Wirkungen (s. JENNY und LEONARD 1934). So waren im Durchschnitt Wasserkapazität, Krümelgrössen, Austauschkapazität, Acidität und die Gehalte an C_t und N_t in den feuchteren Standorten zum grössten Teil signifikant höher (austauschbares $Ca+Mg$ dagegen etwas geringer) als in den trockeneren. Bei den mikrobiologischen Merkmalen zeichnete sich gleichlautend eine Erhöhung des NH_4 und gegenüber Völkenrode allein eine Erhöhung der Bodenatmung, eine bedeutende Erhöhung der Cellulosezersetzerkeimzahl, aber gegenüber Völkenrode und Lilienhof wieder zusammen eine starke Verringerung in der Streptomycetenkeimzahl ab (II. Teil, Abschn. A - C).

Damit ergaben sich auch Beziehungen zwischen den chemischen und mikrobiologischen Merkmalen. Da in den feuchteren Standorten auch signifikant höhere Strohernten erzielt wurden (II. Teil, Abschn. D, Tab. 37), ist zu vermuten, dass höhere Erndterückstände in Verbindung mit stärkerem Unkrautwuchs zu der Anreicherung der organischen Substanz (je nach Boden in Lentförden zwischen 1 - 24 %, in Erndtebrück 2 - 10 %) beigetragen haben. Lentförden und Erndtebrück sind nicht nur kühler und feuchter, sondern auch durch eine viel längere Winterperiode gekennzeichnet, was andererseits sicherlich den Abbau verzögert hat. Die vermuteten höheren Mengen an Pflanzenerückständen können wegen ihrer eiweissarmen, aber cellulosereichen Zusammensetzung evtl. für die Zunahme der Cellulosezersetzer zumindest in Lentförden verantwortlich gewesen sein. Da die Cellulosezersetzer ferner einen hohen N-Bedarf haben, diesen in Form von NH_4 bevorzugen (BECK 1968) und NH_4 vornehmlich in Lentförden nachgewiesen wurde, sind weitere wechselseitige Abhängigkeiten erkennbar. Zu den Cellulosezetzern standen in Lentförden die Streptomyceten vermutlich deshalb in einem umgekehrten Verhältnis, weil sie gegen zunehmende Acidität empfindlich sind und ausserdem wärmere und trockenere Standorte bevorzugen (vgl. EGGLETON 1938; JAGNOW 1957; WAKSMANN 1960; GRIFFIN 1963; STEINBRENNER 1963). Auch bei der bereits erwähnten LUFA-Enquete ergaben sich bei 50 verschiedenen Bodenproben keine Korrelationen zwischen Cellulosezetzern und Streptomyceten. Die Streptomycetenkeimzahl lag am höchsten in Lilienhof. Aber ausser den Pilzen und dem NH_4 -Gehalt wurden hier alle mikrobiologischen Merkmale wohl deshalb am stärksten gefördert, weil die nach Lilienhof verlagerten Böden eine schwach alkalische Reaktion aufwiesen. Pilze und NH_4 -Bildung aber folgen mehr sauren Bedingungen.

Die Alkalisierung der von Natur aus schwach sauren bis sauren Böden Heidepodsol, Parabraunerde und Rankerbraunerde in Lilienhof ist nun nicht etwa als eine Wirkung des Klimas (z.B. durch aufsteigende Basen aus dem dortigen carbonatreichen Standortboden = Pararendzina) zu erklären, sondern sie war, wie aus Versuchsprotokollen hervorging, die Folge einer Panne insofern, als bei Starkregen die in der Nähe eines Hanges liegenden Parzellen mit kalkreichem Umgebungsmaterial überspült wurden. Zwar wurde das aufgetragene Material oberflächlich wieder entfernt, aber die Krumen enthielten zum Schluss einen Carbonat-Gehalt von 2,1 bis 9,4 %, die Unterbodenschichten in 40 - 60 cm immerhin noch 0,6 - 4,1 %.

Aufgrund der Alkalisierung stiegen in Lilienhof vor allem die Keimzahlen der Cellulosezerersetzer und Azotobacter, ferner die Dehydrogenase- und Atmungsaktivität. Rückläufig waren dagegen vor allem der Gehalt an C_t (ausser Heidepodsol) und NH_4 . Nun fördert Kalk einerseits die Wurzelausbildung (KUTSCHERA 1960) und damit die Pflanzenrückstände, andererseits aber auch den Abbau des Humus (die Atmungsrate war je nach Boden zwischen 13 und 46 % gesteigert). Da nun nach JENNY (1960) in gemässigt-humiden Klimaten der Abbau die Anreicherung aber meist mehr als kompensiert, ist der Rückgang im Humusgehalt erklärlich. Aber auch Heidepodsol hat hier einen gesteigerten Atmungsumsatz von durchschnittlich 33 % aufgewiesen, dabei aber gleichzeitig den stärksten Rückgang an Haferkorn- und Haferstrohorträgen gezeigt, und dennoch war hier ein Anstieg an C_t von durchschnittlich 3 % eingetreten. Hier liegt also ein besonders krasser Fall abweichenden Verhaltens von der allgemeinen Regel vor. Eine erhöhte Resistenz der organischen Substanz kann nicht vorgelegen haben, da die Abbaurrate im Laboratorium gegenüber dem Originalstandortboden höher lag. Aber der Heidepodsol ist nach KÖHNLEIN (1954) schwer benetzbar, wenn er einmal ausgetrocknet ist, so dass die gegenüber Lentfördrden trockenere Lage von Lilienhof speziell auf diesen Boden konservierend gewirkt haben könnte, zumal er wegen seiner fast schwarzen Farbe mehr Wärme aufnehmen und daher auch rascher austrocknen kann. Dass der NH_4 -Gehalt bei abnehmender Acidität sinkt (Lilienhof) und bei zunehmender Acidität steigt (Lentfördrden und Erndtebrück), ist eine allgemein bekannte Erscheinung (vgl. z.B. SAUERLANDT 1936, WAKSMAN 1952). Jeweils umgekehrt hatte meistens der Nitratgehalt reagiert, insbesondere

am 9. Tag der Inkubation und vor allem in den schwach alkalischen Böden von Lilienhof.

Einen besonders starken Rückgang der meisten biologischen Kennwerte hatte der feuchte Standort Lentförden bewirkt. Das war auch bei der Pararendzina der Fall (Azotobacter um 51 %, Atmung um 10 %, **Dehydrogenaseaktivität um 39 %**), obwohl der pH-Wert nur um 0,9 (von 7,74 auf 7,65) sank. Aber die DL-löslichen Nährstoffe P und K waren hier um 26 - 28 % reduziert, so dass der Rückgang der Aktivität einiger biologischer Merkmale auch darauf zurückgeführt werden kann. Der häufig noch stärkere Rückgang der biologischen Aktivität in der Rankerbraunerde und Parabraunerde in Lentförden ist durch die geringeren Pufferungseigenschaften dieser Böden erklärbar. Obwohl nun Erndtebrück wesentlich rauher als Lentförden ist und insbesondere mehr Niederschläge aufweist, waren bei den nach hier verlagerten Böden keine so starken negativen Ausschläge aufgetreten. Im Gegenteil, Heidepodsol und Parabraunerde zeigten sogar häufig positive Abweichungen, insbesondere im DL-löslichen P und K, z.T. in der Azotobacterkeimzahl, vor allem aber in der Bodenatmung und in der Dehydrogenaseaktivität, obwohl die Acidität gestiegen war. Nur bei Pararendzina war ein Rückgang der Nährstoffe und mit Ausnahme der N-Mineralisierung aller biologischen Merkmale eingetreten, obwohl dieser Boden hinsichtlich des Basengehaltes die stabilste Konstitution aufweist. So gar in Völkenrode nahmen die Werte einer Anzahl von Merkmalen ab (ausser Pilze) obgleich Völkenrode für trockener zu halten ist als Lilienhof. Während also die Verschlechterung einer Reihe von Merkmalen in Lentförden durch die dort herrschenden klimatischen Verhältnisse in Verbindung mit spezifischen Standortfaktoren (höherer Feuchtigkeitsstau, dadurch stärkere Austausch-, Verlagerungs- und evtl. anaerobe Prozesse), dagegen ihre Verbesserung in Lilienhof durch den eingedrungenen Kalk zu erklären sind, erscheinen die jeweiligen Veränderungen in Völkenrode und Erndtebrück ausser in den physikalischen Merkmalen, dem Gehalt an organischer Substanz sowie in der AK und den Stroherträgen, durch die äusseren Bedingungen nicht immer verständlich. Das ist besonders deshalb der Fall, weil derselbe Standort auf die einzelnen Böden häufig entgegengesetzt gewirkt hat. Diesem zunächst

widersprüchlichen Verhalten liegt aber dennoch eine gewisse Regel zugrunde: Die jeweils nach Süden verlagerten Böden zeigten meist eine Verbesserung, die jeweils nach Norden verlagerten häufig eine Verschlechterung ihrer Eigenschaften (vgl. Tab. 24 - 27, Seite 78 - 82). Dabei fällt ferner auf, dass sich die verlagerten Böden überwiegend (und zwar im Durchschnitt in 70 % aller Fälle, darin sind auch die als klimatisch abhängig erkannten Merkmale eingeschlossen) in Richtung der jeweiligen Eigenschaften der Standortböden veränderten. Diese Tendenzen zur "Annäherung" an den jeweiligen Standortböden waren meist um so stärker, je grössere ursprüngliche Unterschiede zwischen den betreffenden Merkmalen bestanden. Die gleichen "Annäherungstendenzen" hatte VOIGTLÄNDER (1964), der vornehmlich den Einfluss des Klimas auf die Erträge untersuchte, bei seinen verlagerten Böden bereits nach 4jähriger Versuchszeit festgestellt und zwar sowohl in der organischen Substanz als auch in den mineralischen Nährstoffen. Die Neigung zur Annäherung an den Standortboden scheint demnach eine allgemeingültige Gesetzmässigkeit zu sein, die nicht mit Bodenvermischungen oder Austauschvorgängen erklärt werden kann, da VOIGTLÄNDER (1964) seine sogar 1 m tief umgelagerten Böden seitlich hermetisch von dem umgebenden Boden durch 4 cm starke Betonplatten abgeschlossen hatte. Dennoch traten unter dem neuen Klima schon nach vier Jahren solche Veränderungen der Böden ein, ".....indem sie sich den neuen Standortverhältnissen anpassen" (VOIGTLÄNDER 1964). Da die Parzellen des Klimaversuches zur Vermeidung künstlicher Verhältnisse bewusst nicht von der Umgebung abgeschlossen wurden, ist hier zunächst zu untersuchen, ob evtl. doch Bodenvermischungen stattgefunden haben könnten. Tatsächlich hatte ja auch die Korngrössenanalyse einige Veränderungen der verlagerten Böden in Richtung der jeweiligen Standortböden gezeigt. So stieg beispielsweise der Gehalt an Ton und Schluff von Norden nach Süden meist etwas an, während der Gehalt an Grobsand umgekehrte Tendenzen aufwies. Eine jeweils gleiche Reihenfolge ist bei den Standortböden gegeben. Die Zunahme an Ton und Schluff in den nach Lilienhof verlagerten Böden lässt sich mit den gelegentlichen Überspülungen erklären, da Pararendzina den höchsten Schluff- und den zweithöchsten Tonanteil enthält. Demgegenüber müssen die Korngrössenveränderungen in den anderen Standorten andere Ursachen gehabt haben. Hierfür können entweder Verwitterungsvorgänge oder

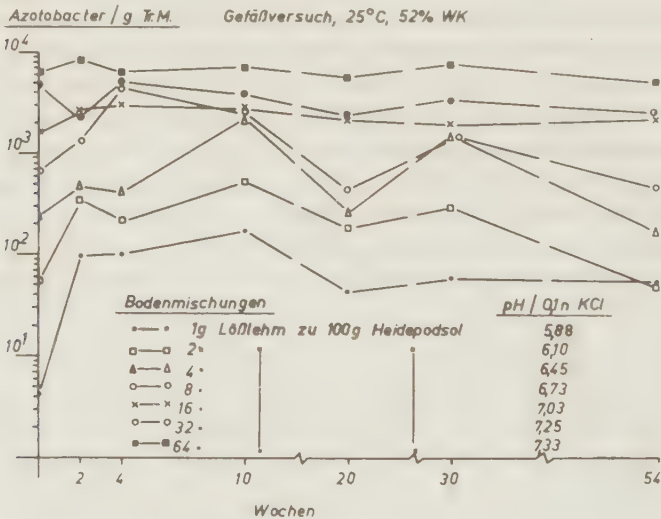
Einmischungen durch wühlende Bodentiere in Frage kommen. Mit Verwitterung kann jedoch nicht die Zunahme an Ton in Erndtebrück vornehmlich beim Heidepodsol und der Grobsandfraktion in Völkenrode bei Rankerbraunerde und Pararendzina erklärt werden, da sich im Heidepodsol kaum noch neuer Ton zu bilden vermag und andererseits Völkenrode wohl als der verwitterungsschwächste Standort angesehen werden muss. Alle Überlegungen deuten also auf eine gewisse Vermischung der verlagerten Böden mit den Standortböden, evtl. durch die Wühlarbeit der Bodentiere, hin. Tatsächlich waren bei der Probeentnahme besonders in dem dunklen Heidepodsol in Lilienhof gelegentlich kleine helle Flecken der umgebenden Pararendzina, in den helleren Böden Parabraunerde, Pankerbraunerde und Pararendzina in Lentförden gelegentlich dunkle Einschlüsse des umgebenden Heidepodsoles zu erkennen. In den beiden übrigen Standorten konnten solche Beimengungen vermutlich deshalb nicht wahrgenommen werden, weil hier die Farbunterschiede zum Umgebungsboden zu gering sind. Aber die Korngrössenanalyse erbrachte auch hier den Nachweis einer gewissen Verschiebung in den Fraktionen. Daher ist es sehr wichtig zu klären, ob und in welchem Umfange die Verschiebungen im Skelettanteil der Böden zu den chemischen und biologischen Veränderungen beigetragen haben könnten. Beispielsweise zeigte Lentförden im Standortmittel einen im Verhältnis geringeren Gehalt an Ton und Schluff von ca. 4 %. Diesem Ergebnis aber stand ein geringerer Gehalt an Kalium von 21 %, an Phosphor von 19 % und an Azotobacter sogar von 84 % gegenüber. Pararendzina allein hatte an Ton und Schluff in Lentförden nur um höchstens 1 % abgenommen und die Menge an löslichem K und P sank um 28 bzw. 26 %. Allerdings war der Grobsandanteil um 80 % gestiegen. Das bedeutet absolut eine durchschnittliche Steigerung jedoch nur von 1,6 auf 2,9 %. Zwar ist nicht ausgeschlossen, dass der Nährstoffgehalt schneller abnimmt als die Tonfraktion, aber die Spanne scheint zu gross, zumal Heidepodsol gegenüber Pararendzina nur etwa 1/5 soviel Ton, aber noch ca. 1/2 soviel K enthält. Selbst wenn also gewisse Einmischungen aus dem jeweiligen Standortboden stattgefunden haben, so vermochten diese mit grosser Wahrscheinlichkeit die Merkmale in so weittragendem Masse nicht zu verändern.

Da die Verlagerten Böden nicht hermetisch von den umgebenden Standortböden abgeschlossen sind, ist ferner zu untersuchen, ob evtl. mit dem Bodenwasser eingedrungene anorganische oder organische

Stoffe zur "Annäherung" bzw. zur Veränderung der verlagerten Böden beigetragen haben. Dies wurde an Hand eines Modellversuches mit Azotobacter und verschiedenen Bodenmischungen aus Heidepodsol und Pararendzina geprüft, da Azotobacter in Lentförhden besonders stark reduziert wurde und im dortigen Heidepodsol nur sporadisch vorkam. Wie Abb. 35 zeigt, aber hatte sich Azotobacter zunächst sogar vermehrt

Abb. 35

Zahl von Azotobacter/g Tr.M. nach Mischung von azotobacterhaltiger Pararendzina mit azotobacterfreiem Heidepodsol



und dann bis auf einige Schwankungen bis zum Versuchsende, also über 54 Wochen, mehr oder weniger konstant gehalten. Das war selbst bei einer Zumischung von nur 1 % Pararendzina der Fall, obwohl bei dieser geringen Zumischung der pH-Wert nur knapp über der kritischen Grenze von pH 5,8 lag. Bei anderen Versuchen mit Azotobacter-Anreicherungskulturen hielt sich dieser Organismus dagegen nicht im Heidepodsol, wenn lediglich mit CaCO_3 aufgekalkt sowie mit K, P und Spurenelementen gedüngt worden war. Nur wenn zum Boden

zusätzlich Mannit als eine für Azotobacter geeignete C-Quelle gegeben wurde, trat eine bedeutende Vermehrung ein. Diese Ergebnisse sprechen somit nicht für besondere im Heidepodsol vorkommende Hemmstoffe,⁺⁾ sondern sie deuten vielmehr auf ungeeignete organische Stoffe, die im Heidepodsol bereits vorhanden waren, in den nach Lentförden verlagerten Böden aber im Laufe der Zeit u.U. erst gebildet worden sind. Ein schlüssiger Beweis dafür kann mit diesen wenigen Modellversuchen natürlich nicht gegeben werden. Einen Hinweis auf Veränderungen der organischen Substanz aber können die Humusanalysen erbringen (Abschn. A, Tab. 25 S. 79). So wurde insbesondere bei allen nach Lentförden verlagerten Böden die Huminsäurefraktion zwischen 3 und 49 % angehoben, während gleichzeitig der unlösliche Rückstand und die Fulvosäuren abnahmen. Aufgrund der Standortbedingungen wäre eigentlich ein umgekehrtes Verhalten der Humin- und Fulvosäuren zu erwarten gewesen. Andererseits hatte aber auch Heidepodsol selbst von allen Böden an Huminsäuren den höchsten, an Fulvosäuren und vor allem an unlöslichem Rückstand den geringsten Gehalt aufgewiesen (Tab. 6, I. Teil), so dass auch durch diese Ergebnisse eine klare "Annäherung" der verlagerten Böden an den Standortboden Heidepodsol zum Ausdruck kommt. Die unerwartete Zunahme der Huminsäuren in Lentförden kann evtl. dadurch erklärt werden, dass sowohl die Extraktionsmethode als auch abiotische Vorgänge eine höhere Ausbeute an Huminsäuren verursacht haben. So kann das in Humushorizonten angereicherte hydratisierte Eisen durch seine katalytischen Eigenschaften zu einer Polymerisation der organischen Stoffe bei gleichzeitiger Hemmung der Abbauprozesse beitragen (NIEDERBUDE 1960). Voraussetzung für das Wirksamwerden des Fe ist ein hoher Grundwasserstand mit jahreszeitlich bedingtem Stau, wobei dann das Eisen als Fe^{2+} in Lösung geht. Diese Bedingungen sind in Lentförden gegeben. Tatsächlich sprechen im Jahre 1972 durchgeführte Untersuchungen über eisenreduzierende Bakterien (AHRENS im internen Bericht des Instituts für Bodenkunde und Bodenerhaltung, Giessen, 1972) auch für diese Theorie, da, wie die nachfolgenden Ergebnisse zeigen, die Zahlen der eisenreduzierenden Organismen in Lentförden (aber auch in Erndtebrück, also in den beiden feuchteren Standorten) zumindest in der oberen und mittleren Bodenschicht stark erhöht waren. Zur Eisenreduktion sind viele, auch nicht typische

+) Mögliche bewegliche Hemmstoffe aus den Unterbodenschichten blieben allerdings bisher noch unberücksichtigt.

Tab. 47

**Eisenreduzierende Bakterien in Mill/g Tr. M. je Standort
im Mittel von 4 Böden ⁺)**

(nur Teilstück o.St., April 1972)

Tiefe	Lentförden	Völkenrode	Erndtebrück	Lilienhof
10 cm	0,816	0,380	0,892	0,110
30 "	0,490	0,235	0,707	0,190
50 "	0,235	0,499	0,076	0,311

(Bestimmung der Fe-Reduzierenden nach OTTOW, 1969)

+) nachträglich eingefügt

Eisenbakterien, unter anaeroben Bedingungen befähigt, wobei aus der organischen Substanz neben Fe auch S in reduzierter Form freigesetzt wird. Dabei kann toxisches H_2S und auch FeS gebildet werden. Neben Luftknappheit wird dieser Prozess noch durch andere Bodenfaktoren wie höhere Acidität, lösliche Huminsäuren und ein niedriges Redoxpotential gefördert. Dabei ist allerdings zu beachten, dass für die Eisenreduktion die Mikroorganismen nicht immer ursächlich verantwortlich zu machen sind, weil auch rein anorganische Prozesse reduzierend wirken können. Wenn jedoch die durch die genannten Faktoren bestimmten Bedingungen günstig sind, wirken auch die Eisenreduzierenden mit (vgl. POCHON und DE BARJAC 1958). Auf jeden Fall ist der Nachweis einer erhöhten Zahl dieser Bakterien als Indiz für ungünstige Verhältnisse anzusehen, zumal die Zahl der Eisenreduzierenden in Lilienhof, dem bodenbiologisch günstigsten Standort, stark abgenommen hatte. Im Hinblick auf boden-physikalische Daten ist in diesem Zusammenhang noch erwähnenswert, dass von den Bodenkundlern (s. erwähneter interner Bericht 1972) in den feuchteren Standorten Lentförden und Erndtebrück gegenüber den trockeneren Völkenrode und Lilienhof ein geringeres Porenvolumen (Niederschlagswirkung ?) festgestellt wurde, das zu einer geringeren O_2 -Versorgung geführt haben könnte. Unklar bleibt, warum die Eisenreduzierenden in den feuchteren Standorten eine im ganzen mit zunehmender Bodentiefe fallende, die trockeneren Standorte aber eine im ganzen steigende Keimzahl aufwiesen. Bezüglich der Humusfraktionen ist noch zu erwägen, wie weit Auswaschungsprozesse die löslichen Fulvosäuren evtl. verlagerten und so zu einer relativen Anreicherung von Huminsäuren beitrugen; denn

es ist ferner darauf hinzuweisen, dass die Huminsäurefraktion auch in anderen Standorten dann höher lag (Parabraunerde/Lilienhof und Erndtebrück, Pararendzina/Erndtebrück), wenn für den jeweils verlagerten Boden der neue Standort feuchter war. In dieses Bild passt nur nicht das Verhalten der Pararendzina in Völkenrode, die auch hier eine Zunahme an Huminsäuren aufwies (+14 %), denn Völkenrode kann nicht feuchter als Lilienhof gelten. Aber hier wie in Lentförden korrelierte der Anstieg der Huminsäuren mit negativen Ausschlägen bei zahlreichen chemischen und biologischen Merkmalen. Hierauf sei hingewiesen, ohne dass damit ein ursächlicher Zusammenhang konstatiert werden kann.

Da die besonderen örtlichen Bedingungen in Lentförden wahrscheinlich eine höhere und länger andauernde Wassersättigung als in anderen Standorten bedingten (der Wassergehalt der Böden weist darauf hin), traten hier Austauschvorgänge und anaerobe Verhältnisse wahrscheinlich stärker in Erscheinung. Da nun Azotobacter in Lentförden besonders intensiv gehemmt wurde und dieser Organismus gegenüber anaeroben Bedingungen im allgemeinen als empfindlich gilt, wurden bei weiteren Modellversuchen verschiedene Böden unter einer ständig hohen Wassersättigung und auch unter einer 12 cm hohen Wasserschicht gehalten und laufend auf den Azotobactergehalt untersucht (AHRENS 1971).⁴⁾ Aber eine hohe Wassersättigung hatte überhaupt keinen negativen Einfluss (dagegen Trockenheit), und unter einer 12 cm Wasserschicht trat lediglich eine leichte Abnahme erst nach einem Jahr ein. Bei Gegenwart von CaCO_3 war die Schädigung schwächer. Andererseits hatten auch TSCHA'PEK und GIAMBIAGI (1955) die Ansicht vertreten, dass für Azotobacter in wenig durchlüfteten bzw. stark feuchten Böden sogar die besten Bedingungen gegeben sind. QUISPÉL (1947) machte darauf aufmerksam, dass selbst unter streng anaeroben Bedingungen keine irreversible Schädigung von Azotobacter stattfand, wenn auch keine Entwicklung möglich war. Nur wenn bei einem gleichzeitig niedrigen Redoxpotential noch leicht umsetzbare organische Substanzen anwesend waren, wurde dieser Organismus irreversibel geschädigt. Da in Lentförden in den Oberbodenschichten höchstens mit einem zeitweiligen Wasserstau zu rechnen ist und grössere Mengen von leicht löslichen C-Verbindungen wohl kaum zur Anreicherung gelangten, kann die Schädigung von Azotobacter in diesem Stand-

⁴⁾ nachträglich eingefügt

ort sicherlich auch nicht durch diese Faktoren bedingt gewesen sein. Als Ursachen für den Rückgang von Azotobacter vorwiegend in Lentförhden können somit lediglich ungünstige Veränderungen in der qualitativen Zusammensetzung der Humusstoffe, die Erhöhung der Acidität und die Abnahme der löslichen Nährstoffe angenommen werden.

Zusammenhänge zwischen chemischen und biologischen Merkmalen ergaben sich ja in starkem Masse auch in den anderen Standorten. Dass für die jeweiligen Wirkungen allein die makro- wie **mikroklimatischen** Verhältnisse ausschlaggebend waren (was für Lentförhden noch am ehesten angenommen werden kann), muss dahingestellt bleiben, weil unter diesem Aspekt nicht erklärt werden kann, warum die Verlagerung von Heidepodsol und Parabraunerde nach Erndtebrück (rauhester Standort) zum Teil eine Verbesserung, die Verlagerung von Pararendzina und Rankerbraunerde nach Völkenrode (trockenster Standort) vielfach eine Verschlechterung bedeutete. Jedoch zeigte diese bereits erwähnte Nord-Süd- bzw. Süd-Nord-Tendenz jeweils "Annäherungen" an die betreffenden Standortböden, die auf typische und spezifische Wirkungen des Standortes schliessen lassen.

In diesem Zusammenhang ist es notwendig auf die Erträge hinzuweisen. Ausser im Strohannteil (der eine positive Beziehung zum Niederschlag erkennen liess) stiegen die Erträge von Süden nach Norden an. Diese Tatsache bedeutet, dass in gleichem Masse wie die Erträge nach Norden hin anstiegen den Böden auch mehr Nährstoffe entzogen wurden. So ist es eigentlich nicht verwunderlich, dass die löslichen Nährstoffe P und K (und mit ihnen in Abhängigkeit stehende mikrobiologische Merkmale) im wesentlichen eine umgekehrte Rangfolge wie die Erträge aufwiesen. diese Relationen sind aus Tab. 38 (S. 125) zu ersehen. Demgegenüber hatten die chemischen wie biologischen Merkmale in vieler Hinsicht positive Korrelationen mit der Wachstumsleistung der Böden im Gefässversuch gezeigt, d. h. Lilienhof stand hierbei an erster und Lentförhden sowie Völkenrode in der Regel an letzter Stelle. Da beim Gefässversuch Standort und Klima gleichgeschaltet waren, ergab sich im Sinne von LINSER (1965) eine deutliche Unterscheidung zwischen der **F r u c h t b a r k e i t** des **B o d e n s** und der **F r u c h t b a r k e i t** des **S t a n d o r t e s**. Die unter natürlichen Standortbedingungen erzielten Kartoffel-, Korn- und Stroherträge unterstreichen andererseits die überragende

Bedeutung der Standortfaktoren insgesamt, auf die v. BOCUSLAWSKI (1954a, 1954b, 1965) stets eindringlich hinweist. Aus den vorliegenden Tatsachen ergibt sich somit zweifellos der überzeugende Eindruck, dass hierbei die atmosphärisch-klimatischen Einflüsse (vgl. S. 17 - 26) auf das Pflanzenwachstum, evtl. in Verbindung mit Folgewirkungen (Pflanzenkrankheiten, kürzere Vegetationszeit etc.), von überragendem Gewicht waren, so dass die ungünstiger gewordenen Bodeneigenschaften der beiden nördlichen Standorte mehr als kompensiert wurden. Wenn nun MÜLLER und FÖRSTER (1963) mit Recht die Aktivität der Mikroorganismen als einen Masstab für die Bodenfruchtbarkeit herausstellten, so ist aufgrund dieser Ergebnisse zu ergänzen, dass ein positiver Zusammenhang zwischen Pflanzenwachstum und Mikroorganismen-tätigkeit nur bei jeweils identischen Standorten erwartet werden kann. Er gilt aber offenbar auch nur für bestimmte biologische Merkmale, so mit ziemlicher Sicherheit nicht für die Pilze und die Ammonifizierung. Das geht auch noch aus anderen Arbeiten hervor (AHRENS unveröffentlicht).

Bisher ergaben sich folgende Haupttendenzen:

- a) bekannte feuchtigkeitsabhängige Merkmale **korrelierten positiv** mit der Niederschlagshöhe (organ. Substanz, AK, Acidität, NH_4 , Krümelgrößen, Stroherträge);
- b) die Korngrössenzusammensetzung zeigte Annäherungstendenzen an die jeweiligen Standortböden;
- c) wesentliche chemische (DL P und K) und biologische (AzKZ, DHA, NO_3) Merkmale stiegen von Norden nach Süden an;
- d) die Erträge an Kartoffeln und Haferkorn stiegen umgekehrt von Süden nach Norden, während sich beim Gefässversuch mit Raps im wesentlichen eine entgegengesetzte Reihenfolge **ergab**;
- e) die Keimzahlen der Cellulosezersetzer zeigten eine positive Korrelation mit den unter a) genannten Merkmalen, was mit den höheren cellulosehaltigen Ernterückständen, der höheren Feuchtigkeit und dem höheren NH_4 -Gehalt in Verbindung gebracht wurde;
- f) Die Bakterienkeimzahlen zeigten ausser einem deutlichen Anstieg in Lilienhof keine weiteren auffälligen Unterschiede.

Im Gegensatz zu allen anderen Keimgruppen zeigten die Pilze ihre höchste Besatzdichte nicht in Lilienhof, sondern in Völkenrode. Auch der Originalboden dieses Standortes (Parabraunerde) enthielt meist die höchste Pilzkeimzahl (neben Rankerbraunerde), so dass

auch bei dieser Keimgruppe wieder eine hohe Annäherungstendenz an den Standortboden zum Ausdruck kam. Dabei bestand zu keinem sonstigen Bodenmerkmal eine besondere Korrelation. Allenfalls bestand eine gewisse Beziehung noch zu der Keimzahl der Streptomyceten, die aber ausser in Völkenrode auch in Lilienhof hoch war. Da die Böden in Lilienhof jedoch eine schwach alkalische Reaktion aufwiesen, Streptomyceten sowohl alkalische als auch trockene (was hier in Relation zu den feuchteren Standorten zu sehen ist) Standorte bevorzugen, zahlreiche Bodenpilze aber stärker unter sauren Bedingungen vertreten sind und darüberhinaus ebenfalls trockene und warme Standorte bevorzugen (RIPPEL 1940, KREHL-NIEFFER 1951, MUSKAT 1955, ISHIZAWA et al. 1958, NIETHAMMER et al. 1959), sind diese Ergebnisse evtl. von daher erklärbar. Mehr als bei allen anderen biologischen Merkmalen, die offenbar vorwiegend auf dem Umweg über die chemischen Bodenfaktoren beeinflusst wurden, scheinen demnach die Pilze (und teils auch die Streptomyceten) insbesondere von den klimatischen Bedingungen beeinflusst worden zu sein. Nun enthielten mit Ausnahme von 1962 die Böden aus Völkenrode ja auch stets den geringsten Wassergehalt (I. Teil, Abb. 5). Die durchschnittliche Wassersättigung betrug hier nur 48,1 %, in den übrigen Standorten dagegen zwischen 58 - 63 %. Da MÜLLER (1965) für Pilze 40 % der WK als optimal fand, muss von den hier untersuchten Standorten Völkenrode als der bevorzugte "Pilzstandort" angesehen werden. Dabei bleibt jedoch ein ungelöster Rest, denn die Verlagerung der Rankerbraunerde aus dem sehr feuchten und kühlen Standort Erndtebrück nach Völkenrode führte im Durchschnitt der beiden Teilstücke zu keinem Anstieg der Zahl der Pilze. Vom Gesichtspunkt der "Annäherung" bestand allerdings auch keine Veranlassung zu einem Anstieg, denn die Pilzkeimzahl dieses Bodens war schon in Erndtebrück so hoch wie die der Parabraunerde in Völkenrode. Wenn andererseits Feuchtigkeit und Temperatur allein ausschlaggebend waren, müssten die Pilze in der Rankerbraunerde/Erndtebrück unteroptimal entwickelt gewesen sein (weil kühl und feucht) und in Völkenrode dann zunehmen. Da das nicht geschah, reichen die Klimafaktoren zur Erklärung der Ergebnisse allein nicht aus. Dieses Beispiel steht für manche Fälle, wo eine "Annäherung" zwar beobachtet wurde, wo aber entweder die wirkenden Faktoren nicht aus den äusseren

Bedingungen hergeleitet werden können oder aber auf die einzelnen Böden ganz verschieden eingewirkt haben müssen. Hierzu sei noch auf die folgenden Fälle hingewiesen: Zunahme der Pilzkeimzahl bei Heidepodsol auch in Erndtebrück (entspricht zwar der Annäherung an den Wert des Standortbodens Rankerbraunerde, aber widerspricht der mutmasslichen Wirkung der Klimafaktoren), ferner Zunahme Azotobacter und DL P bei Heidepodsol/Erndtebrück, gleichzeitig Abnahme beider Merkmale bei Pararendzina im selben Standort. Auch der letzte Fall entspricht der Annäherungsregel, steht jedoch in Bezug auf Heideposol nicht im Einklang mit dem Klima und der Acidität, denn das Klima in Erndtebrück ist zumindest wesentlich kühler und die Acidität hat in allen nach dorthin verlagerten Böden zugenommen. Zur Erklärung der Ursachen solcher und ähnlicher Fälle bleiben die folgenden Möglichkeiten:

1. Aufgrund ihrer Zusammensetzung und Eigenschaften reagierten die Böden auf die neuen Umweltbedingungen unterschiedlich;
2. Aus der Gesamtheit der Standortfaktoren waren keine dominanten Wirkungen von Einzelfaktoren erkennbar, und der Wirkkomplex als Ganzes war nicht analysierbar;
3. Noch unbekannte Standortfaktoren wirkten im Sinne der Annäherungsregel.

Eine Entscheidung für den einen oder anderen Fall ist hier noch nicht möglich. Sie würde die Anlage eines neuen Versuches unter neuen Bedingungen erfordern. Andererseits ist sicher, dass die Klimafaktoren Temperatur und Feuchtigkeit eine erhebliche Rolle spielen. So soll nach KOEPF (1953) die Umsetzungsaktivität von der vorausgegangenen Lagerungstemperatur abhängen. PRECHT (1953), MISCHUSTIN (1933) sowie DHAR und TANDON (1936) weisen auf die Adaptionstemperatur als einen wesentlichen Faktor hin. PROVASOLI (1958) wies nach, dass ein Temperaturunterschied von nur $1,5^{\circ}\text{C}$ erheblich die Zusammensetzung der Bodenfauna-Arten (für die Bodenflora stehen solche Ergebnisse noch aus) beeinflusste. FEHER (1933) FEHER und FRANK (1937, 1938) sowie MÜLLER (1965) sehen in den numerischen Werten aus Temperatur und Feuchtigkeit ("R-Gesetz") ganz wesentliche Einflüsse auf Keimzahlen und Umsetzungen. Wenn jedoch eine Adaption an eine vorausgegangene Temperatur eine Rolle spielt, dann sind auch noch andere Adaptionen (z.B. an Feuchtigkeit, Nährstoffmenge bzw. Nährstoffverhältnisse,

Partialdruck der Luftgase etc.) denkbar. Diesen möglichen und teils auch zufälligen Einflüssen wurde nun dadurch begegnet, dass einmal die Proben in verschiedenen Jahren und in verschiedenen Jahreszeiten, zum anderen nach gleichmässiger Trocknung und Wiederbefeuchtung (52 % max. WK) untersucht wurden. Trotzdem wurden aber im wesentlichen immer die gleichen Standortrangfolgen gefunden. Da ferner die Keimzahlen durch die Trocknung bei den als ungünstig ausgewiesenen Standorten (z.B. Lentföhrden) stark, bei dem als günstig ausgewiesenen Standort Lilienhof aber nur schwach bzw. gar nicht geschädigt wurden, sind indirekte Beweise für die stärkere Abhängigkeit der Mikroorganismen von den chemischen Bodenfaktoren als von den zur Zeit der Probenahme herrschenden Klimabedingungen gegeben (vgl. II. Teil Tab. 28, S. 96). Wie weit mikro- wie makroklimatische Bedingungen die Mikroorganismen evtl. auch direkt beeinflusst haben und diese wieder zur Veränderung der chemischen Bodenfaktoren beitragen, ist schwer abzuschätzen. Geht man von der klimatischen Gesamtsituation der Standorte Lentföhrden und Erndtebrück aus und zieht die hier vermuteten höheren Erndterückstände in Betracht, so kann angenommen werden, dass wegen der kühlen und feuchten Bedingungen dieser Standorte die mikrobiellen Umsetzungen hier einerseits verzögert wurden, andererseits aber auch zur Anreicherung saurer Zwischenprodukte führten. Die daraus abzuleitenden sekundären Wirkungen auf den bodenchemischen Zustand liegen auf der Hand. In Völkenrode sind die Umsetzungen möglicherweise auch nicht optimal verlaufen, aber dort dann wegen zu geringer Feuchtigkeit, so dass es nicht zur besonderen Anreicherung von sauren Stoffwechselprodukten kommen konnte. In Lilienhof dagegen hat wohl vor allem die Kalkeinwaschung in Verbindung mit der warmen und noch ausreichend feuchten Lage die Abbauvorgänge stark gefördert, was ja in dem Verlust an C_t und N_t und in dem etwas engeren C/N-Verhältnis der hierhin verlagerten Para- und Rankerbraunerde auch zum Ausdruck kam.

Die Veränderungen der Merkmale der Unterbodenschichten waren im Verhältnis noch stärker als die der Oberböden. Damit wird die Aussage von BRYAN et al. (1943), dass ein Klimawechsel die bedeutendsten Veränderungen in den unteren Bodenschichten hervorruft, voll bestätigt, obgleich der Wechsel beim Klimaversuch nur innerhalb des humiden bis semihumiden Bereichs vor sich

ging. Hierzu mag jedoch ausserdem die mit der Verlagerung verbundene Strukturveränderung (Lockerung) zusätzlich beigetragen haben. Das wichtigste Ergebnis war die zunehmende Anreicherung an Kohlenstoff mit zunehmender Bodentiefe in Lentförden und Lilienhof, zu der sich wegen der bekannten Abhängigkeiten andere Merkmale parallel verhielten. Dieses Ergebnis steht aber hinsichtlich der Standorte Erndtebrück und Lilienhof im Gegensatz zum Humusverhalten der Oberbodenschichten, denn Erndtebrück zeigte hier im Durchschnitt eine Zunahme und Lilienhof eine Abnahme. Trotz dieser Widersprüche müssen auch die Ergebnisse der Unterbodenschichten als spezifisch standortbedingt angesehen werden, weil sie ausser in der Acidität meist auch auffallend starke Annäherungstendenzen an die jeweiligen Schichten der Standortböden erkennen liessen. Sie ergeben sich vor allem aus den relativen Unterschieden zwischen den Ober- und Unterbodenschichten, die im Heidepodsol und in der Pararendzina enger sind als in der Para- und Rankerbraunerde. Für die C-Zunahme in den unteren Schichten bei den nach Lentförden und Lilienhof verlagerten Böden kommen wahrscheinlich verschiedene Ursachen in Betracht. Da Ca-Ionen die Wurzelmasse fördern (KUTSCHERA 1960), ist hinsichtlich Lilienhof vorwiegend an einen Einfluss der höheren Pflanze, evtl. in Verbindung mit der Wühlarbeit der Bodenfauna, zu denken. Für Lentförden aber dürften diese Vorgänge kaum in Frage kommen, weil die höhere Wassersättigung und ein zeitweiliger Stau (wie sie für diesen Standort angenommen werden) die Wühlarbeit der Tiere und die Wurzelausbildung mehr auf dem Oberboden beschränkt. (Die Beschränkung der Wurzelausbildung bei Heidepodsol vornehmlich auf die obere Krumenschicht wird von KÖHNLEIN und BERGT (1968) bestätigt). Hier wäre dann eher eine Translokation löslicher organischer Stoffe in Betracht zu ziehen, die wegen der höheren Wassersättigung im Unterboden nicht weiter mineralisiert werden konnten. In diesem Zusammenhang wurde oben bereits auf die in diesem Standort angereicherten löslichen organischen Stoffe hingewiesen. Bekanntlich neigen Podsole zur Bildung und zur Verlagerung der relativ beweglichen Fulvosäuren und anderer niedermolekularen organischen Säuren, wobei diese durch organo-mineralische Verbindungen gleichzeitig eine höhere Beweglichkeit der Sesquioxide, des Ca, Fe, Mn und anderer Mineralstoffe im unteren Teil des A-Horizontes

bewirken (vgl. SALLANS und SNELL 1937; STREMMER 1949). Die Fällung des Eisens im B-Horizont soll nach DEB (1950) und CRAWFORD (1956) vorwiegend von Bakterien bewirkt werden. Da sich die nach Lentfördrden verlagerten Böden sowohl im Ober- wie im Unterboden in Richtung der Eigenschaften des Heidepodsol verändert hatten (höhere Acidität, geringere Nährstoffversorgung, höhere Menge organischer Substanz, geringere biologische Aktivität in der Krume), die Unterböden zunehmend mit Kohlenstoff angereichert wurden, ist anzunehmen, dass dieser Standort auch ohne eine entsprechende Vegetation Podsolierungsvorgänge fördert. Gerade die Anreicherung von organischer Substanz in den unteren Bodenschichten muss als ein darauf hinweisender Vorgang angesehen werden.

Wenn nun Erndtebrück bei noch höheren Niederschlägen keine C-Anreicherung in den Unterböden erkennen liess, so vermutlich deshalb, weil der Untergrund durchlässiger ist und keinen Stau verursachen kann, eine Verfrachtung organischer Stoffe also unter Umständen bis unter die Schichttiefe von 60 cm zuliess. Doch ohne eine eingehende Beobachtung der vermuteten Vorgänge direkt am Standort und an den Bodenprofilen und ohne weitere chemische Analysen sind die eigentlichen Ursachen kaum ausreichend zu ergründen.

Entgegen den übrigen biologischen Merkmalen (Bakterienkeimzahl, Dehydrogenaseaktivität und CO_2 -Bildung) zeigte Azotobacter auch in den unteren Schichten der Böden aus Lentfördrden meist die stärksten Abnahmen, obwohl der C-Gehalt angestiegen war.

Die bekannte (vgl. NIKLAS et al. 1926; BORTELS 1930, 1937; KRIUCKOWA und POPOWA 1934, 1935; AHRENS 1963a; GLATHE und GLATHE 1966) stärkere Abhängigkeit des Azotobacter von der Qualität als von der Quantität der Humusstoffe war bei diesen Untersuchungen in mehrfacher Hinsicht erkennbar.

Über die nach Standorten und in Wechselwirkung mit dem Boden unterschiedliche Wirkung des Stalldung wurde bereits diskutiert (II. Teil, Abschn. G). Nur sei im Zusammenhang mit den Unterbodenschichten nochmals herausgestellt, dass Stalldung ausgerechnet in Lentfördrden neben Völkenrode mit die günstigsten Wirkungen zeitigte, wo nach den bisherigen Ausführungen vorwiegend negative Veränderungen stattfanden, die nicht in unbedeutendem Masse mit der qualitativen Verschlechterung der organischen Substanz in

Zusammenhang gestanden haben könnten. Nun scheinen aber die positiven Wirkungen des Stalldung in Lentförden und Völkenrode vorwiegend mit einer C-Anreicherung bis in die unterste Schicht (hier sogar verstärkt) in Verbindung gestanden zu haben. Auch die Umlagerung der Originalböden dieser beiden Standorte (Heidepodsol und Parabraunerde) hatte zu einer C-Anreicherung in den Unterbodenschichten geführt. Da diese beiden Böden bzw. Standorte gleichzeitig die höchsten Erträge an Kartoffeln und Haferkorn brachten, wurde bereits die Frage aufgeworfen (S. 155/156), ob die C-Anreicherung unter Stalldung nicht die Folge einer besseren Wurzel Ausbildung bzw. höherer Pflanzenrückstände gewesen ist; denn es war in der Krume kein Verdünnungseffekt erkennbar, der auf Verlagerungsvorgänge hingedeutet hätte. Das ist jedoch letztlich eine Frage der Mengenverhältnisse, denn wenn in der Krume entsprechend mehr Rückstände verblieben sind (einerseits durch Stalldung im Vergleich zu ohne Stalldung, andererseits aufgrund der klimatischen Lage von Lentförden im Vergleich zu Völkenrode), muss sich eine Verlagerung organischer Stoffe nicht in einem geringeren Humusgehalt der Krume bemerkbar machen. Nun besteht der Widerspruch, dass eine C-Anreicherung in den Unterbodenschichten bei den verlagerten Böden einerseits in Lentförden und Lilienhof, bei der Umlagerung und der Stallmistdüngung aber andererseits in Lentförden und Völkenrode eingetreten ist. Diese Tatsache zeigt, dass der Standort allein nicht ausschlaggebend war, sondern dass es sich um ein komplexes Zusammenspiel von Behandlung, Bodenart und Standort gehandelt haben muss. Diese Feststellung gilt mit Sicherheit für eine Reihe von Merkmalen.

Die Ergebnisse gestatteten gewisse Beziehungen herauszuarbeiten. Zahlreiche Fragen mussten jedoch offen bleiben. Die Aufgabe wurde dadurch erheblich erschwert, dass in jedem Standort polyfaktorielle Einflüsse vorlagen. Selbst wenn sich nur ein Faktor änderte, waren alle anderen mehr oder weniger auch betroffen. Verändert sich beispielsweise die Feuchtigkeit, ändern sich zwangsläufig Temperatur, Lufthaushalt, Löslichkeitsverhältnisse, Bodenreaktion, Pflanzenwachstum etc.. Einen ganz wesentlichen Einfluss muss im vorliegenden Falle der höheren Pflanze und den mikroklimatischen sowie pedogenen Umgebungseinflüssen zugemessen werden. Auch VOIGTLÄNDER (1964) war es nicht gelungen, klare

Beziehungen zwischen Pflanzenwuchs und Klima herauszuarbeiten, weil unter den neuen Standortbedingungen auch die Bodeneigenschaften sehr rasch verändert wurden. Bei dieser Arbeit bestand die Aufgabe darin, Veränderungen des Bodens, insbesondere aber Veränderungen der mikrobiellen Dynamik, mit den Klimafaktoren in Verbindung zu bringen. Diese Aufgabe scheint noch komplexer, weil als Graduenten zusätzlich die höheren Pflanzen und die bodenchemischen Zustandsänderungen einbezogen werden mussten.

Da unter natürlichen Verhältnissen kosmogene, pedogene und biogene Faktoren unlösbar durch Wechselbeziehungen miteinander verknüpft sind (SCHEFFER und LIEBEROTH 1957), war es nur beschränkt möglich, eine eingehende Faktorenanalyse der Standortwirkungen vorzunehmen. Ausdrücklich weist auch WALTER (1960) darauf hin, dass die kosmogenen Klimafaktoren (Wärme, Wasser, Luft, Licht) sowohl über die höhere Pflanze als auch über den Boden wirken. Dennoch konnte bei einigen Merkmalen eine Beziehung zum jeweiligen Luftklima gefunden werden. Bei anderen werden differenziertere Wechselbeziehungen für wahrscheinlich gehalten. Davon unabhängig aber kann festgestellt werden, dass die Böden schon in den ersten 10 Versuchsjahren erhebliche Veränderungen erfahren haben. Zwar wurden nicht die typischen Eigenschaften einer Bodenart grundsätzlich umgestaltet, aber die Höhe der Kennwerte wurde z. T. erheblich verschoben. Dabei trat als übergreifende Gesetzmässigkeit eine Verschiebung in Richtung derjenigen Böden ein, in deren Originalstandort die Verlagerung stattgefunden hatte. Wenn auch in zahlreichen Fällen die eigentlichen Ursachen hierfür nicht oder nur in erster Annäherung aufgedeckt werden konnten, so beweisen die Ergebnisse doch einen auf die kurze Versuchszeit bezogenen überraschend hervorragenden Einfluss des Standortes. Dabei hat wahrscheinlich die durch die Verlagerung bewirkte Lockerung der Struktur und die damit zwangsläufig verbundene physikalisch-chemische und biochemische Aktivierung der Verwitterungs- und Mineralisierungsprozesse die Labilität der Böden so erhöht, dass der Einfluss der jeweils neuen Standorte rascher zum Tragen kommen konnte, als wenn dem Versuch gewachsene Böden zugrunde gelegen hätten.

Z u s a m m e n f a s s u n g .

=====

In der vorliegenden Arbeit wurde ein im Jahre 1952 von GLATHE angelegter "Klimaversuch" ausgewertet. Der Klimaversuch basiert auf vier Bodentypen vier verschiedener Standorte (Heidepodsol aus Lentförden/Schleswig-Holstein, Parabraunerde aus Völkenrode/Niedersachsen, Rankerbraunerde aus Erndtebrück/Westfalen und Pararendzina aus Lilienhof/Baden-Württemberg), in die die Böden gegenseitig schichtweise (0 - 20, 20 - 40, 40 - 60 cm) verlagert und damit jeweils anderen Klimaverhältnissen ausgesetzt wurden. Parallel zur Verlagerung wurde zwecks gleicher Behandlung der als Kontrolle dienende Standortboden in derselben Weise ausgehoben und wieder eingelagert. Bei Ortswechsel wird daher von Verlagerung, ohne Ortswechsel von Umlagerung gesprochen. Der Versuch wurde in Form von Grubenparzellen mit oberflächlicher Kastenbegrenzung (Parzellengrösse 2 x 6 m) angelegt. Die Böden wurden abwechselnd mit Kartoffeln und Hafer bestellt, wobei zur üblichen Mineraldüngung die eine Hälfte der Parzellen jeweils zu Kartoffeln zusätzlich noch 100 dz/ha Stalldung erhielt. Die Untersuchungen wurden in den Jahren 1962 - 1968 durchgeführt. Im ersten Teil wurden die dem Versuch zugrunde liegenden Faktoren (Standorte, Bodenarten, Klimate, Umlagerung), im zweiten Teil die Wirkung der Standorte auf die verlagerten Böden dargelegt.

I. Teil (Standorte, Klimate, Bodenarten, Umlagerung)

1. Die Standorte Lentförden und Erndtebrück erwiesen sich als deutlich kühler und feuchter als Völkenrode und Lilienhof, wobei Erndtebrück der kühlsste und Lilienhof der wärmste Standort ist. Unter Berücksichtigung des Untergrundes, des Grundwassers, des Mikroklimas und des ermittelten Wassergehaltes der Böden steht in der Bodenfeuchtigkeit aller Wahrscheinlichkeit nach Lentförden vor Erndtebrück und Lilienhof vor Völkenrode.
2. Die chemischen und mikrobiologischen Eigenschaften der vier Bodenarten sind ausserordentlich verschieden. In der Acidität der Originalstandortböden ergab sich die folgende Rangfolge: Heidepodsol (pH 5,80) > Rankerbraunerde (pH 5,91) > Parabraunerde (pH 6,49) > Pararendzina (pH 7,76). Pararendzina enthält

als einziger Boden Carbonate (ca. 35 %). Heidepodsol zeigt entschieden das weiteste C/N-Verhältnis (24,2 : 1) und enthält vor Rankerbraunerde den höchsten C- und N-Gehalt. Den geringsten Gehalt an DL-löslichem P weisen Rankerbraunerde und Pararendzina, den höchsten Parabraunerde auf. Im Gehalt an DL-löslichen K stehen entsprechend dem Tongehalt Rankerbraunerde und Pararendzina an erster, Parabraunerde und Heidepodsol an letzter Stelle.

3. In den Keimzahlen und Umsetzungsaktivitäten standen meist Rankerbraunerde und Pararendzina an der Spitze. Pararendzina zeichnete sich insbesondere durch einen hohen Gehalt an Azotobacter und Cellulosezersetzern aus. Parabraunerde enthielt den zweithöchsten Gehalt an Azotobacter und gleich so hohe Pilzkeimzahlen wie Rankerbraunerde. Heidepodsol enthielt demgegenüber nur wenige Azotobacter und die geringsten Pilzkeimzahlen. In der Anfangsgeschwindigkeit der Nitrifikation ergab sich klar die Reihenfolge Pararendzina > Rankerbraunerde > Parabraunerde > Heidepodsol. Auf längere Zeit gesehen bewirkten aber die an Humus reicheren Böden (Heidepodsol und Rankerbraunerde) die grösste Nettoproduktion an Nitrat.
4. Nach Umrechnung aller mikrobiologischen Werte auf eine Einheit Kohlenstoff bzw. Stickstoff ergab sich mit geringfügigen Ausnahmen bei allen drei Bodenschichten aber eine gleiche Reihenfolge der Kennwerte: Pararendzina > Parabraunerde > Rankerbraunerde > Heidepodsol. Sie entsprach der Reihenfolge zunehmender Acidität und damit der jeweiligen Entwicklungsstufe der Bodenarten.
5. Insbesondere nach dem C-Gehalt und einigen mikrobiologischen Kriterien beurteilt, waren Heidepodsol und Pararendzina tiefergründiger als Parabraunerde und vor allem Rankerbraunerde.
6. Die Wirkung der Umlagerung der Standortböden war stark von der Bodenart abhängig. Hinsichtlich der Oberbodenschichten fiel eine generelle Erhöhung des DL-löslichen und austauschbaren Kaliums und ein starker Verlust des austauschbaren Natriums auf. Pararendzina liess als einziger Boden einen starken Verlust (9 - 14%) an Humus erkennen. Heidepodsol und Parabraunerde reagierten auf die Umlagerung mit zunehmender Acidität und allgemeiner

Verschlechterung des chemischen und mikrobiologischen Zustandes, während Rankerbraunerde eine eindeutige Zustandsverbesserung erfuhr. Die genetisch älteren Böden wurden durch die Umlagerung also mehr negativ, der genetisch junge Boden mehr positiv beeinflusst.

Ein ganz anderes Bild zeigten die Unterbodenschichten. Hier bewirkte die Umlagerung insbesondere bei Heidepodsol und Parabraunerde, z.T. aber auch bei Rankerbraunerde, eine Anreicherung von Humus und damit auch günstige Effekte auf einige chemische und biologische Eigenschaften. Letzteres gilt in erster Linie für die unterste Schicht. Demgegenüber trat bei Pararendzina auch in den Unterbodenschichten ein Humusverlust ein.

7. In der Ertragsbildung ergaben sich im Durchschnitt die folgenden Reihenfolgen:

Kartoffeln: Heidepods. > Parabr. > Rankerbr. > Pararendz.

Haferkorn : Heidepods. > Pararendz > Parabr. > Rankerbr.

Haferstroh: Pararendz. > Heidepods. > Rankerbr. > Parabr.

Rapswurzel: Rankerbr. > Pararendz > Parabr. > Heidepods.

Rapsspross: Rankerbr. > Pararendz > Heidepods > Parabr.

Da die Ertragsbildung an den Standorten selbst meist eine negative Korrelation zu wichtigen chemischen und mikrobiologischen Merkmalen aufwies, waren vermutlich Faktoren des Klimas ausschlaggebender als Faktoren des Bodens. Demgegenüber ergaben sich bei einem Gefäßversuch mit Raps (einheitliches Klima im Gewächshaus) mehr positive Beziehungen zu den chemischen und biologischen Bodenfaktoren. Die Umlagerung der Böden hat sich meist günstig auf die Erträge in den Standorten ausgewirkt, dagegen nicht beim Gefäßversuch.

II. Teil (Verhalten verlagelter Böden)

1. Im F-Test ergeben sich überragende Wirkungen durch den Standort bzw. in der Wechselbeziehung zwischen Standort und Boden.
2. Alle untersuchten Bodenmerkmale haben sich unter den jeweils neuen Standortbedingungen mehr oder weniger verändert. Art und Stärke der Veränderungen waren vom Standort, von der Bodenart und von der Wechselbeziehung zwischen dem Standortboden und dem verlagerten Boden abhängig. Dabei zeigten die mikrobiologischen Merkmale mit die stärksten Veränderungen, unter ihnen vor allem Azotobacter, Cellulosezersetzer und Dehydrogenaseaktivität. Eine statistische (varianzanalytische) Auswertung der Unterschiede zwischen den Standorten aufgrund der Standortmittelwerte (Im Mittel der jeweiligen 4 Böden) ergab in zahlreichen Fällen eine hohe Signifikanz. Aufgrund einiger von GLATHE bis 1959 durchgeführte Zwischenuntersuchungen und der eigenen 1962 begonnenen Arbeiten wurde festgestellt, dass die meisten Bodenveränderungen schon in den ersten 10 Versuchsjahren stattgefunden haben müssen.
3. Eine Reihe von Merkmalsänderungen konnte auf bekannte Klima- bzw. Standortwirkungen zurückgeführt werden. Hierzu zählen Wasser-Kapazität, Krümelgrößen, Acidität, NH_4 sowie N_t und C_t , die in den feuchteren und kühleren Standorten Lentförden und Erndtebrück in der Regel zunahmen, während gleichzeitig die Kationen $\text{Ca}+\text{Mg}$ sowie der Sättigungsgrad abnahmen. Austauschbares sowie DL-lösliches K und DL-löslicher P wurden insbesondere in Lentförden verringert. Lilienhof wirkte auf die organische Substanz von 2 Böden abbauend.
4. Ein von den anderen Merkmalen abweichendes Verhalten zeigte das austauschbare Na. Es nahm von Norden nach Süden ab bzw. stieg in den nach Norden verlagerten Böden von Standort zu Standort an. Dieses Ergebnis wird auf die Zufuhr von Na mit feuchten nordwestlichen Seewinden zurückgeführt.
5. Eine Reihe von mikrobiologischen Merkmalen korrelierte mit den chemischen. Das gilt insbesondere für Azotobacter, die

Dehydrogenaseaktivität und die Nitrifikation, die parallel mit den meist von Süden nach Norden abnehmenden pH, K- und teils auch P-Werten rückläufige Tendenzen aufwiesen.

6. Nach Standorten ergab sich für die mikrobiologischen Merkmale folgendes Bild: Bis auf die Cellulosezerersetzer und die NH_4 -Bildung wurden in Lentfördrden alle biologischen Merkmale meist erheblich gehemmt. Völkenrode zeichnete sich vor allem in einer Förderung der Pilze, aber in einer Hemmung der Cellulosezerersetzer und der Bodenatmung aus. In Erndtebrück wurden die Atmung, die Dehydrogenaseaktivität und teils auch die Keimzahlen von Pilzen und Azotobacter schwach gefördert, die übrigen Merkmale aber meist gehemmt. Die Hemmwirkungen waren meist schwächer als in Völkenrode und insbesondere Lentfördrden. In Lilienhof wurden die Ergebnisse in erster Linie durch Erosionsüberflutungen bestimmt, die aus der umgebenden Pararendzina Carbonate und Feinboden in die eingelagerten Böden schleppten. Die darauf zurückzuführende starke Erhöhung der pH-Werte muss daher als Hauptursache der fast ohne Ausnahme stark verbesserten chemischen und biologischen Eigenschaften der in Lilienhof liegenden Böden angesehen werden.
7. Die Unterbodenschichten, insbesondere die unterste Schicht von 40 - 60 cm, wurden z. T. noch stärker verändert als die Oberböden. Insbesondere im Gehalt an Humus, aber auch hinsichtlich anderer Merkmale, wirkten Lentfördrden und Lilienhof so, dass die verlagerten Böden tiefgründiger wurden. Völkenrode und insbesondere Erndtebrück wirkten eher umgekehrt. Die Wirkungen des Standortes Lentfördrden auf die Unterbodenschichten waren damit teilweise entgegengesetzt den Wirkungen auf die Oberböden.
8. Stalldung hat sich auf die verschiedensten Merkmale und bis in die unterste Bodenschicht insbesondere in Lentfördrden, aber auch in Völkenrode, meist günstig, in Lilienhof und insbesondere Erndtebrück aber häufig ungünstig ausgewirkt. Die jeweiligen Wirkungen waren stärker vom Standort als von der Bodenart abhängig.

9. Die Erträge an Kartoffeln und Korn nahmen im allgemeinen von Norden nach Süden ab. Sie korrelierten demnach nicht mit den meisten chemischen und biologischen Merkmalen, die bis auf die geschilderten Ausnahmen in Lentförden meist ungünstig, in Lilienhof aber besonders günstig beeinflusst wurden. Demgegenüber zeigte das Wachstum von Winter-Raps im Gefässversuch mehr positive Zusammenhänge mit den Bodenmerkmalen. Somit wird für wahrscheinlich gehalten, dass Faktoren des Luftklimas die Standorterträge stärker beeinflussten als Faktoren des Bodens. Diese Ergebnisse betonen insbesondere den Unterschied zwischen der "Fruchtbarkeit des Standortes" und der "Fruchtbarkeit des Bodens". Die Stroherträge waren in Lentförden und Erndtebrück höher als in Völkenrode und Lilienhof. Sie korrelierten damit erfahrungsgemäss mit höheren Feuchte- und geringeren Temperatur-Werten.
10. Der Tendenz nach bewegten sich die Veränderungen der verlagerten Böden in durchschnittlich 70 % aller Fälle in Richtung der Eigenschaften der jeweiligen Standortböden. Dabei nahm die Stärke der Veränderungen häufig mit dem Unterschied zwischen den Werten des verlagerten Bodens und des Standortbodens zu. Diese Tatsache wird als eine übergreifende Gesetzmässigkeit betrachtet, die nicht nur bei der Krume, sondern auch bei den Unterbodenschichten auftrat. Sie wird als "Annäherungstendenz" bezeichnet. Die gleichen Beobachtungen hatte bei ähnlichen Versuchen bereits VOIGTLÄNDER (1964) festgestellt. Die Annäherungstendenz trat auch dort hervor, wo dafür keine im Standort liegenden Ursachen aufgedeckt werden konnten. Es wird daher für möglich gehalten, dass hierbei noch unbekannte Faktoren mitwirkten. Unabhängig von den Ursachen weist die Tatsache der Annäherungen der verlagerten Böden an den jeweiligen Standortboden - die bei dem einen Boden eine Zunahme, bei dem anderen evtl. eine Abnahme derselben Kennwerte dann bedeuten konnte, wenn die Werte des Standortbodens dazwischen lagen - auf einen dominierenden Einfluss des Standortes hin.
11. Die in dieser Arbeit gestellte Frage, ob nach einem Klimawechsel schon nach relativ kurzer Zeit mit Merkmalsveränderungen zu rechnen ist, kann eindeutig bejaht werden.

L i t e r a t u r v e r z e i c h n i s

- Ahrens, E.: Der Einfluss organischer und mineralischer Dünger auf das Verhalten von Azotobakter und die Möglichkeit seines quantitativen Nachweises.
Zbl. Bakteriologie II. 117, 255-282 (1963a)
- Ahrens, E.: Die Wirkung von Siedlungskomposten auf die zahlenmässige Entwicklung von Azotobakter.
Informationsblatt der I.A.M. Nr. 19, 13-16 (1963b)
- Ahrens, E.: Zur Frage der C-Quelle für den quantitativen Nachweis von Azotobakter.
Bodenbiologie, Int. Mitteilungsblatt, Inst. Pasteur, Paris, 5, 22 (1966)
- Ahrens, E.: Herstellung eines Hafer-Nährbodens für die Zählung und Züchtung von Actinomyceten.
Bodenbiologie, Int. Mitteilungsblatt, Inst. Pasteur, Paris 7, 20-22 (1967)
- Ahrens, E.
u. A. von Klopotek: Über das Verhalten verschiedener Mikroorganismengruppen in feucht und trocken gelagerten Böden.
Zbl. Bakteriologie II. 124, 250-262 (1970)
- Ahrens, E.
u. A. Thalmann: Zur Frage abiotischer CO₂-Abspaltung aus karbonathaltigen Böden.
Z. f. Pflanzenern. u. Bodenkde. 127, 143-154 (1970)
- Ahrens, E.: Untersuchungen über die Keimzahl von Azotobakter im AZ-Kalk und in Böden in Abhängigkeit von deren Feuchtigkeitszustand.
Landw. Forsch. 26/II, Sonderheft, 47-56 (1971)
- Ansorge, H.: Untersuchungen über den Einfluss der unterschiedlichen Düngung auf die Böden des "Statischen Versuches" Lauchstädt.
Z. Landwirtsch. Vers. Unters.-Wesen 3, 499-532 (1957)
- Bardtke, D.: Der Einfluss tiefer Temperaturen auf die Mikroflora des Stallungs.
Diss. landw. Fakultät Giessen, 1958
- Beck, T.: Mikrobiologie des Bodens.
München, Basel, Wien 1968
- Beckmann, H. u. H. W. Scharpen-seel: Kohlendioxid-Entbindung in sterilisierten Böden.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 105, 102-112 (1964)

- Bihler, G.: Über den Einfluss einseitiger Dauerdüngung auf Vorkommen und Entwicklung von *Acetobacter chroococcum*.
Diss. München 1927
- Boguslawski, E.v.: Das Zusammenwirken der Wachstumsfaktoren bei der Ertragsbildung.
Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkde 98, 145-186 (1954a)
- Boguslawski, E.v.: Bodenfruchtbarkeit vom Standpunkt des Ackerbauers.
In: Landwirtschaft-Angewandte Wissenschaft. Bd 26
Hiltrup 1954b. 17-45
- Boguslawski, E.v.: Zur Entwicklung des Begriffes Bodenfruchtbarkeit.
Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 108, 97-115 (1965)
- Bortels, H.: Molybdän als Katalysator bei der biologischen Stickstoffbindung.
Arch. Mikrobiol. 1, 333-342 (1930)
- Braun-Blanquet, J.: Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. Aufl.
Wien, New York 1964
- Bremner, J.M.: Magnesium oxide-devarda alloy methods for soil extracts.
In: Black, C.A. (Ed.): Methods of soil analysis II, Madison 1965. 1195-1200
- Broadbent, F.E.: Nitrogen release and carbon loss from soil organic matter during decomposition of added plant residues.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 12, 246-249 (1949)
- Bryan, K.A.
C.C. Albritton jr.: Soil phenomena as evidence of climatic changes.
Amer. J. of Sci. 241, 469-490 (1943)
- Coppenet, M.: Résultats de douze années d'observations lysimétriques à quimper (1954-1965).
Ann. agron. 20, 111-143 (1969)
- Crawford, D.V.: Microbiological aspects of podzolization.
VI. Int. Kongress bodenkundl. Gesellsch. C, Paris 1956. 197-202
- Curie, J.A.: A methods for the study of *acetobacter* and its application to fertility plot soils.
Soil Sci. 32, 9-25 (1931)
- Deb, B.C.: The movement and precipitation of iron oxides in podzol soils.
J. Soil Sci. 1, 112-122 (1950)

Deutsche Einheitsverfahren zur Wasseruntersuchung.
Weinheim 1960

Dhar, N.R.u.

S.P.Tandon: Influence of temperature on nitrogen fixation by
acotobacter.
Proc.Nation.Acad.Sci.India 6,35-39(1936)
(zit. Rippel 1955, p. 273)

Dokučaeu, V.V.: Kurzer historischer Abriss und kritische Über-
sicht der wichtigsten vorhandenen Bodenklassifi-
kationen (1879).

In: V.V.Dokučaeu: Gesammelte Werke. Bd. 2
Moskau, Leningrad 1950. 245-247
(zit. Ehwald 1959)

Dommergues, Y.: The influence of environmental factors on the
micro- and macropopulation of soil.
VIII. Int.Bodenkundl.Kongr., Zusammenfassungen der
Mitt.III, 1964. 32-33

Dubos, R.J.: The decomposition of cellulose by aerobic bacteria.
J.Bact. 15, 223-234 (1928)

Düggeli, M.: Bodenbakteriologische Studien.

Landw.Jahrbuch d.Schweiz 38, 203 (1924)

Eggleton, W.G.E.: The influence of environmental factors on
numbers of soil microorganisms.
Soil Sci. 46, 351-363 (1938)

Ehwald, E.: Das Problem der Bodenentwicklung.

In: Berichte und Vorträge der deutschen Akademie
der Landwirtschaftswissenschaften zu Berlin,
Bd. IV, 67 - 97 (1959)

Erickson, L.C.: Growth of tomato roots as influenced by oxygen
in the nutrient solution.
Amer.J.Botany 33, 551-561 (1946)

Eriksson, E.: Air and precipitation as sources of nutrients.

In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung, II/I.
Wien, New York 1966. 774-792

Fedorow, M.W.: Biologische Bindung des atmosphärischen Stickstoffs.
(Übers.a.d.Russ.)
Berlin 1960

Feher, D.: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss
von Temperatur und Wassergehalt des Bodens auf
die Lebenserscheinungen der Bodenbakterien.
Arch.Mikrobiol. 4, 447-486 (1933)

Feher, D.u.

M.Frank: Experimentelle Untersuchungen über den Einfluss
der Temperatur und des Wassergehaltes auf die
Tätigkeit des Bodens.
Arch.Mikrobiol. 8, 249-287 (1937)

- Feher, D. u. M. Frank: Untersuchungen über den Einfluss der Temperatur und des Wassergehaltes auf die Tätigkeit der Mikroorganismen des Bodens. II. Die Bestätigung der experimentell abgeleiteten Gesetzmässigkeiten durch Untersuchung der Wald- und Ackerböden und ihre Übertragung auf den Wärme- und Wasserhaushalt der höheren Pflanzen. Arch. Mikrobiol. 9, 193-222 (1938)
- Fiedler, H. J.: Die Untersuchung der Böden. Bd. 2. Dresden, Leipzig 1965
- Flaig, W. u.
- H. J. Kutzner: Beitrag zur Ökologie der Gattung Streptomyces Waksman et Henrici. Archiv Mikrobiol. 35, 207-228 (1960)
- Fränzle, O.: Klimatische Schwellenwerte der Bodenbildung in Europa und den USA. Die Erde 96, 86-104 (1965)
- Friedel, H.: Boden- und Vegetationsentwicklung am Pasterzen-ufer. Carinthia II, 123, Klagenfurt (1934)
- Gainey, P. L.: Correlation between the presence of acotobacter in soil and the hydrogen ion concentration of the soil. Abstr. Bact. 6, 14-15 (1922)
- Gainey, P. L.: Influence of the absolute reaction of a soil upon its acotobacter flora and nitrogen fixing ability. J. Agr. Res. 24, 907-928 (1923)
- Glathe, H.: Klima, Pflanze und Boden. Landbauf. Völkenrode 4, 44-45 (1954)
- Gams, W. u.
- D. Parkinson: Problematik der Bodenmykologie. Ber. Geobot. Inst. Eidg. Techn. Hochschule, Stiftung Rübel, 32. Heft, 176-186 (1960)
- Glathe, H. u.
- E. Ahrens: Die Bestimmung des Azotobaktergehaltes in azotobakterhaltigen Substanzen. Landw. Forsch. 17, 172-178 (1963)
- Glathe, H. u.
- G. Glathe: Die Mikroorganismen des Bodens und ihre Bedeutung. In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. II. Bd. Wien, New York 1966. 551-649
- Glathe, H. u.
- E. Ahrens: Die Bedeutung der Dispergierung der Böden bei der Bestimmung der Zahl der Azotobakter-Zellen. Landw. Forsch. 21, H. 1 (1968)
- Graff, O.: Untersuchungen über die Bodenfauna im Ackerboden. Hab. Schrift d. landw. Fak. Giessen 1964
- Graff, O.: Über die Verlagerung von Nährelementen in den Untergrund durch Regenwurm-tätigkeit. Landw. Forsch. 20, 117-127 (1967)

- Greaves, J.: A study of the bacterial activities of virgin and cultivated soils. Zbl. Bakt. II, 41, 444-459 (1914)
- Gross, K.: Der Einfluss der Tiefenbearbeitung auf pseudo-vergleyte Parabraunerden und ihre Produktivität.
Diss. landw. Fak. Giessen 1969
- Griffin, D.M.: Soil moisture and ecology of soil fungi.
Biolog. Rev. Cambridge, 38, 141-166 (1963)
- Gutser, R.u.
A. Amberger: P-Dynamik weicherdiger Rohphosphate und Probleme der Bodenuntersuchung.
Z. Pflanzenern. u. Bodenkde. 130, 205-214 (1971)
- Hallam, M.J.u.
W.V. Bartholomev: Influence of rate of plant residue addition in accelerating the decomposition of soil organic matter.
Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 17, 365-368 (1953)
- Herrmann, R.: Die Untersuchung der Böden.
Methodenbuch. Bd. I.
Radebeul, Berlin 1955
- Hilgard, E.W.: Die Böden humider und arider Länder.
Int. Mitt. f. Bodenkde. I, und Wollnys Forschungen auf dem Gebiet d. Agr. Phys. 16, 82 (1873)
(zit. Schucht 1930)
- Hissink, D.J.: The reclamation of the dutch saline soils (solonchak) and their further weathering under the humid climatic conditions of Holland.
Soil Sci. 45, 83-94 (1938)
- Hofmann, Ed. u.
Gg. Hofman: Über Herkunft und Weg des Kohlendioxyds im Boden.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 97, 97-100 (1962)
- Ingraham, J.L. und J.L. Stokes: Psychrophilic bacteria.
Bact. Rev. 23, 97-108, 1959
- Institut für Bodenkunde und Bodenerhaltung Giessen: Vergleichende Untersuchungen über den Lufthaushalt von Böden und dessen wurzelökologische Bedeutung. (interner Bericht).
Giessen 1972
- Isermeyer, H.: Eine einfache Methode zur Bestimmung der Bodenatmung und der Karbonate im Boden.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 56, 26-38 (1952)
- Ishizawa, S. T., T. Suzuki, T. Koda a. O. Sato: Studies on micro-organisms and their activities in soil.
Bull. Nat. Inst. Agr. Sci. (Japan), Ser. B, Soils 8, 1-211 (1958)
- Jackson, M.C.: Soil chemical analysis.
Englewood Cliffs 1958
- Jagnow, G.: Beiträge zur Ökologie der Streptomyceten.
Arch. f. Mikrobiol. 26, 175-191 (1957)
- Jagnow, G.: Untersuchungen über die Verbreitung von Streptomyceten in Naturböden.
Archiv Mikrobiol. 25, 274-296 (1956)

- Kononova, M.M.: Soil organic matter.
Oxford, London, New York, Paris 1961. 290 p.
- Kononova, M.M.: Das Humusproblem und die gegenwärtigen Aufgaben bei seiner Untersuchung (Russ.).
Moskau 1951
(zit. Müller 1965)
- König, L.: Der jahreszeitliche Wechsel des Mikroorganismenbesatzes in verschiedenen Bodenprofilen.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 111, 23-37 (1965)
- Krause, K.: Russische Forschungen auf dem Gebiete der Bodenstruktur.
Landw. Jahrbücher 73, 602-690 (1931)
- Krehl-Niefer, R.M.: Verbreitung und Physiologie mikroskopischer Bodenpilze.
Arch. Mikrobiol. 15, 389-402 (1951)
- Kriuchkova, A.P.u.
L.P. Popowa: Zur Untersuchung der ökologischen Variabilität der Mikroorganismen in bezug auf Boden-diagnostik.
Mikrobiologia 3, 232 (1934), 4, 593 (1935)
(zit. E. Blanck: Handbuch der Bodenlehre. I. Erg.-Bd 1939. n. 590)
- Kubiena, W.L.: Entwicklungslehre des Bodens.
Wien 1948
- Kubiena, W.L.: Der Entwicklungsgedanke in der Bodenkunde.
Die Bodenkultur 3, 554-558 (1949)
- Lünze, Ch.: Die Bedeutung der Enzyme für die Beurteilung der biologischen Bodenaktivität.
Zbl. Bakteriologie II. 125, 385-393 (1970)
- Mister, E.: Outline of a comparative study of criteria used in characterization of the actinomycetes.
Int. Bull. Bact. Nomencl. and Taxonomy. 9, 97-104 (1959)
- Kutschera, L.: Wurzelatlas mitteleuropäischer Ackerunkräuter und Kulturpflanzen.
Frankfurt/Main 1960
- Laatsch, W.: Die Bodentypen um Halle (Saale) und ihre postdiluviale Entwicklung.
Jahrbuch d. Hallesch. Verbandes, N.F. 13-15, 57-112 (1934-36)
- Laatsch, W.: Entwicklungstendenzen und System der deutschen Acker- und Waldböden.
Kolloid-Beih. 46, 143-223 (1937)
- Laatsch, W.: Dynamik der mitteleuropäischen Mineralböden.
Dresden, Leipzig 1954
- Lang, R.: Verwitterung und Bodenbildung als Einführung in die Bodenkunde.
Stuttgart 1920

- Jagnow, G.: Der Humushaushalt tropischer Böden und seine Beeinflussung durch Klima, Bodennutzung, Trocknung und Erhitzung.
Habil.-Schr. der landw. Fak. Giessen 1967
- Jambor, B.: Tetrazoliumsalze in der Biologie.
Jena 1960
- Jegorowa, A. A.: Thermophile Bakterien in arktischen Gebieten (Russ.)
Ber. Akad. Wiss. UDSSR 647-649 (1938)
(ref.: Bot. Zbl. 35, 310-311 (1941/42))
- Jenny, H.: Role of the plant factor in the pedogenic functions.
Ecology. 39, 1-16 (1958)
- Jenny, H.: Klima und Klimabodentypen in Europa und in den Vereinigten Staaten von Nordamerika.
Soil Res. 1, 139-189 (1929)
- Jenny, H.: Factors of soil formation. A system of quantitative Pedology.
New York, London 1941
(zit. Fränze 1965)
- Jenny, H. a.
C. D. Leonard: Functional relationships between soil properties and rainfall.
Soil Sci. 38, 363-381 (1934)
- Jones, P. C. T. a.
J. E. Mollison: A technique for the quantitative estimation of soil microorganisms.
J. gen. Microbiol. 2, 54-69 (1948)
- Kappen, H., J. Hofer, E. Grosse-Brauckmann: Über die Wirkung des Hüttenkalkes auf die Zerstörung der organischen Stoffe des Bodens und über eine einfache Methode zu ihrer Bestimmung.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 44, 6-33 (1949)
- Klopotek, A. v.: Mykologische Untersuchungen verschiedener Böden an klimatisch unterschiedlichen Standorten.
Progress in Soil Biology. 171-177,
Braunschweig u. North-Holland (1967)
- Kmoch, H. G.: Die Luftdurchlässigkeit des Bodens.
Habil.-Schr. Fak. Bonn
Bornträger Berlin 1962
- Koepf, H.: Die Temperatur/Zeit-Abhängigkeit der Bodenatmung.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 61, 29-48 (1953)
- Köhnlein, J. u.
E. Schlichting: Eigenschaften und Nutzung kultivierter Heidepodsole in Nordwestdeutschland.
Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 84, 296-308 (1959)
- Köhnlein, J.: Feldversuche im Dienste der Bodenfruchtbarkeit.
Hiltrup 1954. 139-159
(Landwirtschaft - Angewandte Wissenschaft. Nr. 26)
- Köhnlein, J. u.
K. Bergt: Ein Beitrag zur Kenntnis der nordwestdeutschen Heidepodsole als landwirtschaftliche Nutzfläche.
Hamburg, Berlin 1968
(Schriftenreihe d. landw. Fak. d. Univ. Kiel. H. 43)

- Linser, H.: Fassung und Bedeutung des Begriffes "Bodenfruchtbarkeit".
Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 108, 115-123 (1965)
- Löhris, F.: Vorlesungen über landwirtschaftliche Bakteriologie. 2. Aufl.
Berlin 1926
- Loub, W.: Orientierende Untersuchungen über die Mikroflora verschiedener Bodentypen in Österreich.
VI^e Congrès international de la Science du Sol
III, 15, 87-93 (1956)
- Loub, W.: Zur Mikrobiologie mittel- und nordeuropäischer Podsole.
Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkde. 111, 157-167 (1965)
- Lundegårdh, H.: Klima und Boden in ihrer Wirkung auf das Pflanzenleben.
Jena 1957
- McBee, R.H. u. V.H. McBee: The incidence of thermophilic bacteria in arctic soils and waters.
J.Bact. 71, 182-185 (1956)
- McCready, H.H.: Tables for rapid interpretation of fermentation tube results.
Public Health J. 9, 201-220
(Canada 1913)
- Merck, E.: Komplexometrische Bestimmungsmethoden mit Titriplex. 2. Aufl.
Darmstadt
- Meyer, L.: Beeinflussung der Lösungsverhältnisse der Bodenphosphorsäure durch die zwei Faktoren Kohlen- säure und Kalk.
Arch. Pflanzenbau. 5, 585-612 (1931)
- Meyer, A.: Über einige Zusammenhänge zwischen Klima und Böden in Europa.
Chemie der Erde. 2, 209-347 (1926)
- Meyer, L.: Darstellung und Verwendung von Humus-Ton-Gemischen als Träger von Pflanzennährstoffen und als Bodenverbesserungsmittel.
Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkde. A. 39, 211-224 (1935)
- Meyer, L.: Ton-Humus-Komplexe als Träger der Bodenfruchtbarkeit und als Bodenverbesserungsmittel.
Forschungsdienst. 11, 344-355 (1941)
- Mischustin, E.N.: Die Anpassung der Bodenbakterien an klimatische Temperaturbedingungen. (Russ.)
Mikrobiologija 2, 174-185 (1933)
Ref.: Zbl.Bakt. II, 90, 92 (1934)
- Mitscherlich, E.A. u.
W.Sauerlandt: Salpeter- und Ammoniak-Stickstoff im Boden und die pflanzenphysiologisch. wirksame Stickstoffmenge "b".
Landw. Jahrbücher Bd. LXXXI, 623-654 (1935)
- Mitscherlich, E.A.: Bodenkunde für Landwirte, Forstwirte und Gärtner. 5. Aufl.
Halle 1949

- Mückenhausen, E.: Entstehung, Eigenschaften und Systematik der Böden der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt/Main 1962
- Müller, G.: Bodenbiologie. Jena 1965
- Munk, H.: Phosphatdüngung - Phosphatverfügbarkeit. Die Phosphorsäure 29, 35-56 (1971)
- Muskat, J.: Untersuchungen über Schimmelpilze Bayerischer und tunesischer Böden, I. Floristisch-ökologischer Teil. Arch. Mikrobiol. 22, 1-20 (1955)
- Nagel-de Boois, H. M.
a. E. Jansen: Hyphal activity in mull and mor of an oak forest. Progress in Soil Biol. 27-36 (1967)
- Nehring, K.: Agrikulturchemische Untersuchungsmethoden für Dünge- und Futtermittel, Böden und Milch. Hamburg, Berlin 1960
- Niederbudde, E. A.: Zur Frage der Huminstoffanreicherung in Mineralböden des feucht-temperierten Klimagebietes. Kali-Briefe, Fachgebiet 1 (Bodenkunde), 8. Folge, 1-5 (1960)
- Niese, G.: Veränderungen im Keimgehalt von Bodenproben während des Transportes. Landw. Forsch., 23/II. Sonderheft, 68-76 (1970)
- Niethammer, A.: Weitere Beiträge über Verbreitung und Leben mikroskopischer Bodenpilze. Arch. Mikrobiol. 13, 60-73 (1942/43)
- Niethammer, A., R. Krehl-Nieffer u. M. Hitzler: Mikroskopische Bodenpilze verschiedener Herkunft unter verschiedenen Kulturbedingungen. Zbl. Bakteriologie II. 112, 429-439 (1959)
- Niklas, H., H. Poschenrieder u. A. Hock: Über die Verbreitung des Azotobakter in den Böden Bayerns unter Berücksichtigung der Bodenreaktion, des Kalk- und Phosphorsäuregehaltes derselben. Zbl. Bakteriologie, Ab. II, 66, 16-28 (1926)
- Ottow, J. C. G.: Qualitative und quantitative mikrobiologische Populationsuntersuchungen an unterschiedlich vergleyten Böden unter besonderer Berücksichtigung der Ökologie und Physiologie eisen-reduzierender Bakterien. Diss. landw. Fak. Giessen 1969
- Pauli, F. K.: The biological assessment of soil fertility. Plant and Soil 22, 337-351 (1965)
- Pallmann, H.: Grundzüge der Bodenbildung. Schweiz. landw. Monatshefte, 22, 1-24 (1942b)
- Pfaff, C.: Über Lysimeter-Versuche. Forschungsdienst, Sonderh. 6, 102-114 (1937)

- Pierre, W.H.a.
F.W.Parker: Soil phosphores studies. II. The concentration of organic and inorganic phosphorus in the soil solution and soil extracts and the availability of the organic phosphorus to plants.
Soil Sci. 24, 119-128 (1927)
- Pochon, J.u.
H.de Baryac: Traite de microbiologie des sols.
Paris 1958
- Precht, H., J.Christophersen u.H.Hensel: Temperatur und Leben.
Berlin, Göttingen, Heidelberg 1955.
- Provasoli, L.: Nutrition and ecology of protozoa and algae.
Ann. Rev. Micro. 12, 279-308 (1958)
- Quisnel, A.: The influence of the oxidation-reduction potential of the medium upon the growth of Acetobacter cariococcum.
A. van Leeuwenhoek 13, 33-43 (1947)
- Rachno, P.Ch.: Mikrobiologija (Russ.) 29, 229-233 (1960)
(zit. Beck 1968)
- Rawald, W.: Über die bodenenzymatische Aktivität als Komponente der Bodenbiologischen Aktivität, insbesondere im Hinblick auf die Beurteilung des Fruchtbarkeitszustandes des Bodens, sowie Aspekte der Aufgaben bodenenzymatischer Forschung.
Zbl. Bakteriologie II. 125, 363-384 (1970)
- Remy, M.: Bodenchemische und bakteriologische Studien.
I. Mitt.
Zbl. Bakteriologie II. 13, 315-318 (1907)
- Remy, Th.: Untersuchungen über die Stickstoffsammelvorgänge in ihrer Beziehung zum Bodenklima.
Zbl. Bakteriologie II. 22, 561-651 (1909)
- Reuther: (zit. Knoch, H.G.)
- Riehm, H.u.D.Quellmalz: Die Bedeutung der Pflanzennährstoffe im Regenwasser und in der Luft und ihre Bedeutung für die Landwirtschaft.
In: Riehm, H.: Hundert Jahre Staatliche Landwirtschaftliche Versuchs- und Forschungsanstalt Augustenberg. Festschrift.
Karlsruhe 1959. S. 171-183
- Rippel, A.: Über die Verbreitung von Aspergillus niger insbesondere in Deutschland.
Arch. Mikrobiologie. 11, 1-32 (1940)
- Römpf, H.: Chemie-Lexikon. 4. Aufl. Bd. 1, 1618-1622
Stuttgart 1958
- Russel, J.C.a.E.C. Engle: Soil horizons in the central prairies.
Amer. Soil Surv. Ass. Bul. VI, 1-18 (1925)
- Russel, E.W.: Soil conditions and plant growth. Longmans 1961
- Sallans, H.a.I. Snell: Water substances in the rawhumus of podsol soils.
Canad. J. Botany 15 (1937)

- Sauerlandt, W.: Die Beurteilung verschieden aufbereiteter Müllkomposte mittels des Feldversuches. Informationsblatt d.J.A.M., Zürich, Nr.13, 21-29 (1961)
- Sauerlandt, W.: Untersuchungen über die Salpeterbildung und die Umsetzungen der Phosphorsäure unter dem Einfluss von Kalkdüngung und dem Kalkgehalt der Böden. Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 45, 129-153 (1936)
- Schachtschabel, P.u.
G.Heinemann: Beziehungen zwischen P-Bindungsart und pH-Wert bei Lössböden. Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 105, 1-13 (1964)
- Scharpenseel, H.W.u.
H.Beckmann: Untersuchungen zur Kohlendioxydentbindung des Bodens. Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 104, 110-118 (1964)
- Scheffer, F.u.
J.Lieberoth: Was versteht man unter Bodenfruchtbarkeit, -ertragsfähigkeit und -ertragsleistung? Die dtsh. Landwirtsch. 8, 272 - 275 (1957)
- Scheffer, F.u.P.
Schachtschabel: Lehrbuch der Bodenkunde. 6. Aufl. Stuttgart 1966
- Schiller, J.: Über winterliche pflanzliche Bewohner des Wassers, Eises und des daraufliegenden Schneegebietes. Österr.bot. Zeitschr. 101, 236-284 (1954)
- Schlichting, E.u.
H.P.Blume: Bodenkundliches Praktikum. Hamburg, Berlin 1966
- Scholz-König, E.: Mikrobiologische Charakterisierung von vier Bodenprofilen auf Grund der Populationsdichten. Z.Pflanzenern. Düng. Bodenkd. 112, 122-132 (1966)
- Schönhals, E.: Bodenentwicklung und Bodenfruchtbarkeit. Landw.-Angew.Wiss., Nr.26, 94-104 Hiltrup 1954b
- Schönhals, E.: Die Böden Hessens und ihre Nutzung. Abh.Hess.Land.-Amt Bodenforsch. 2 (1954a)
- Schropp, W.: In: Jakob, A.u.H.Rüther: Der Vegetationsversuch. 3. Der Feldversuch und seine Technik. Berlin 1961
- Schucht, F.: Grundzüge der Bodenkunde. Berlin 1930
- Sidiras, N.: Ergebnisse zweijähriger Untersuchungen über Wirkungen einer meliorativen Tiefenbearbeitung auf 3 Bodentypen. Diss. Agrarw.Fak. Hohenheim 1969
- Springer, U.: Farbtiefe und Farbcharakter von Humusextrakten in ihrer Abhängigkeit von der Alkalikonzentration, zugleich ein Beitrag zur Kenntnis der Humustypen. Z. Pflanzenern. Düng. Bodenkd. A.34, 1-14 (1934)

- Stapp, C.: Untersuchungen über Aktinomyceten des Bodens.
I. Mitt.
Zbl. Bakteriologie II. 107, 129-150 (1953)
- Steinbrenner, K.: Mikrobiologische Veränderungen durch
langjährige Düngungsmassnahmen.
Zbl. Bakteriologie II. 116, 581-592 (1963)
- Stebutt, A.: Lehrbuch der allgemeinen Bodenkunde.
Berlin 1930
- Steubing, L.: Pflanzenökologisches Praktikum.
Berlin, Hamburg 1965
- Stöckli, A.: Die Verbreitung der Azotobakter-Organismen in
der Schweiz.
Landw. Jahrbuch d. Schweiz 58, 67-105 (1944)
- Straub, R. u.
E. Scholz-König: Die Untergrundlockerung und ihre Wirkung
auf die Bodenmikroorganismen.
In: Die Unterbodenmelioration.
Auszug aus dem Zweijahresbericht der
Landes-, Lehr- und Versuchsanstalt Ahrweiler,
1968.
- Stremme, H.: Die Böden des Deutschen Reiches und der
Freien Stadt Danzig.
Petermanns Mitt., Ergänzungsheft zu H. 226 (1936)
(zit. Laatsch 1937)
- Stremme, H. E.: Die Bleichhorizonte von Waldbodentypen.
Forstwirtsch.-Holzwirtsch. 3, 362-370 (1949)
- Stotzky, G. u.
Norman, A. C.: Factors limiting microbial activities in soil.
Arch. Mikrobiol. 40, 341-369 (1961)
- Thalmann, A.: Zur Bestimmung der Dehydrogenaseaktivität im
Boden mittels TTC (Triphenyltetrazoliumchlorid).
Bodenbiologie, Int. Mitteilungsblatt, Inst. Pasteur.
Paris 6, 46-47 (1966)
- Thalmann, A.: Über die mikrobielle Aktivität und ihre Beziehungen
zu Fruchtbarkeitsmerkmalen einiger Ackerböden und
besonderer Berücksichtigung der Dehydrogenase-
aktivität (TTC-Reduktion).
Diss. landw. Fak. Giessen 1967.
- Tscharek, M. u.
N. Giambiasi: Nitrogen fixation of Acetobacter in soil - its
inhibition by oxygen.
Arch. Mikrobiol. 21, 376-390 (1955)
- Verma, S. B. S.: Zum Problem des quantitativen Nachweises der
Mikroflora des Bodens mit der Methode Koch.
Diss. landw. Fak. Giessen 1964
- Viljams, V. R.: Bodenkunde - Ackerbau mit den Grundlagen der
Bodenkunde. 6. Aufl. (Russ.)
Moskau 1949
(zit. Ehwald 1959)

- Voigtländer, G.: Über die Abhängigkeit der Ertragsbildung und der Ertragshöhe bei einigen landwirtschaftlichen Kulturpflanzen von Boden und Klima in zwei verschiedenen Höhenlagen. Habilschr. d. landw. Hochschule Hohenheim, Stuttgart 1964
- Waksman, S. A.: The Actinimycetes. Vol. 2
New York 1960
- Waksman, S. A.: Der gegenwärtige Stand der Bodenmikrobiologie und ihre Anwendung auf Bodenfruchtbarkeit und Pflanzenwachstum.
Fortschr. Naturwiss. Forsch. Heft 10, 1-116 (1930)
- Waksman, S. A.: Soil microbiology.
New York, London 1952
- Walter, H.: Einführung in die Phytologie. III. Grundlagen der Pflanzenverbreitung.
1. Teil: Standortislehre. 2. Aufl.
Stuttgart 1960
- Walter, H. u. H. Lieth: Klimadiagramm - Weltatlas.
Jena 1960
- Walter, H.: Grundlagen des Pflanzenlebens. Bd. I. Stuttgart 1962
- Weaver, J. E.: Root development in the grassland formation. A correlation of the root systems of native vegetation and crop plants.
Washington 1920
(zit. Braun-Blanquet 1964)
- Weaver, J. E.: Root development of field crops.
New York 1926
- Weaver, J. E.: Investigation on the root habits of plants.
Amer. J. Bot. 12 (1925)
(zit. Braun-Blanquet 1964)
- Winogradsky, S.: Microbiologie du sol.
Paris 1949
- Wrangel, G. v. u. E. Koch: III. Die Löslichkeitsgesetze in ihrer Anwendung auf tertiäre Phosphate.
Landw. Jahrb. 53, 677 - 706 (1926)

T a b e l l e n a n h a n g

Tab. 48

		Wassergehalt in 0-20 cm Tiefe (%) (1962-68)		Wasserkapazität (g/100 g Tr.M.) (1966)	
Stallung:		o.	m.	o.	m.
Heide- podsol	S nicht umgelag.	21,7	22,4	42,7	46,5
	Ss in Lentförden	21,0	21,4	41,5	42,8
	Sn in Völkenrode	16,8	17,0	40,3	41,4
	Sw in Erndtebrück	21,3	21,2	44,8	46,4
	Sb in Lilienhof	20,5	20,6	39,9	40,3
Para- braunerde	N nicht umgelag.	11,8	12,4	31,4	32,8
	Ns in Lentförden	15,0	16,8	32,9	33,3
	Nn in Völkenrode	12,0	12,6	31,8	32,8
	Nw in Erndtebrück	15,2	15,3	33,6	34,7
	Nb in Lilienhof	15,9	16,1	32,8	32,7
Ranker- braunerde	W nicht umgelag.	21,8	22,6	51,0	50,4
	Ws in Lentförden	23,3	23,8	52,1	49,6
	Wn in Völkenrode	18,8	19,2	49,2	47,9
	Ww in Erndtebrück	22,2	22,4	51,3	49,6
	Wb in Lilienhof	21,4	21,2	47,0	47,8
Para- rendzina	B nicht umgelag.	19,4	19,0	43,1	44,0
	Bs in Lentförden	21,2	21,3	42,5	44,0
	Bn in Völkenrode	17,6	17,9	43,2	43,1
	Bw in Erndtebrück	21,5	21,1	43,2	42,6
	Bb in Lilienhof	19,4	19,3	43,8	44,5
F-Test:		FG		Wasserkapazität	
Stallung		1		-	
Standort		3		++	
Boden		3		++	
Stallung/Standort		3		-	
Stallung/Boden		3		-	
Standort /Boden		9		++	

- = nicht, + = mit 5, ++ = mit 1, +++ = mit 0,1 P % gesichert

FG = Freiheitsgrade

Tab. 49

Korngrößenfraktionen (in % der Tr.M.) in 0-20 cm Tiefe
(1968)

mm:	Ton ≤ 0,002		Schluff 0,002-0,06		Feinsand 0,06-0,2		Grobsand 0,2-2,0	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	4,6	4,3	18,2	20,8	16,4	19,1	60,8	55,8
Ss	3,8	4,5	20,9	19,5	19,6	19,1	55,7	56,9
Sn	3,8	4,4	22,2	21,2	18,9	19,3	55,1	55,1
Sw	4,3	5,2	23,2	22,7	18,7	17,6	53,8	54,5
Sb	8,0	8,1	22,6	21,2	18,3	18,0	51,1	52,7
N	7,6	7,6	48,2	49,6	14,9	14,6	29,3	28,2
Ns	6,9	7,5	49,6	47,1	14,7	14,9	28,8	30,5
Nn	7,2	7,2	49,3	47,4	14,6	14,3	28,9	31,1
Nw	7,8	7,8	47,3	49,7	14,7	14,2	30,2	28,3
Nb	7,8	8,0	49,3	49,3	15,1	15,2	27,8	27,5
W	22,4	21,9	56,2	56,7	9,8	9,3	11,6	12,1
Ws	21,6	21,5	55,2	55,0	9,9	10,8	13,3	12,7
Wn	21,1	20,6	56,1	56,0	9,1	10,0	13,7	13,4
Ww	22,3	22,1	55,7	56,3	10,1	10,1	11,9	11,5
Wb	18,6	19,3	62,9	61,6	10,6	10,9	7,9	8,2
B	10,8	10,7	74,1	75,4	12,6	11,9	2,5	2,0
Bs	11,0	10,5	73,8	75,4	12,5	11,1	2,7	3,0
Bn	10,6	10,2	73,0	74,9	13,0	11,5	3,4	3,4
Bw	10,6	11,1	74,4	74,7	12,9	12,5	2,1	1,7
Bb	10,6	11,0	74,5	75,1	13,2	12,4	1,7	1,5

F-Test:	FG	Ton	Schluff	Feinsand	Grobsand
Stalldung	1	-	-	-	-
Standort	3	++	++	-	++
Boden	3	++	++	++	++
Stalldung/Standort	3	-	-	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-	+	-
Standort /Boden	9	++	-	-	-

Tab. 50

Verteilung der Krümelgrößen (in %) nach Trockensiebung in
0-20 cm Tiefe (1966)

mm:	2-1		1-0,5		0,5-0,25		< 0,25	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	5,2	5,3	20,2	15,5	34,2	33,3	40,4	45,9
Ss	5,5	4,8	21,9	16,6	34,1	32,4	38,5	46,2
Sn	5,3	5,0	16,4	17,1	28,6	27,8	49,7	50,1
Sw	5,5	6,7	17,0	16,9	29,7	28,2	47,8	48,2
Sb	5,2	4,0	15,2	14,4	27,0	26,9	52,6	54,7
N	4,8	3,2	16,9	14,4	21,0	22,7	56,3	59,7
Ns	9,3	7,7	25,5	24,7	18,7	19,0	46,5	48,6
Nn	2,6	3,6	12,1	15,0	20,4	20,9	64,9	60,5
Nw	5,8	9,4	19,1	20,6	23,0	23,1	52,1	46,9
Nb	7,9	10,1	18,1	18,6	17,5	16,9	56,5	54,4
W	17,4	15,3	27,3	26,0	15,9	17,4	39,4	41,3
Ws	24,2	24,0	33,5	30,9	13,7	13,9	28,6	31,2
Wn	17,7	19,2	22,8	24,3	16,7	16,4	42,8	40,1
Ww	21,8	22,3	25,7	25,0	14,8	14,7	37,7	38,0
Wb	22,6	18,7	25,3	25,5	11,2	12,5	40,9	43,3
B	13,0	13,0	21,7	22,1	9,1	9,7	56,2	55,2
Bs	18,4	17,1	24,9	22,8	8,6	9,2	48,1	50,9
Bn	6,8	7,9	18,3	22,1	13,7	14,7	61,2	55,3
Bw	15,6	14,7	24,8	26,1	10,6	10,7	49,0	48,5
Bb	13,8	10,4	22,0	21,2	9,1	9,8	55,1	58,6
F-Test:	FG		2 - 1 mm		0,25 mm			
Stalldung	1		-		-			
Standort	3		++		++			
Boden	3		++		++			
Stalldung/Standort	3		-		++			
Stalldung/Boden	3		-		+			
Standort /Boden	9		++		++			

Tab. 51

pH/0,1 nKCl Hy/100 g Tr.M. lactatlösliche Nährstoffe
(1962-68) (1966/68) (mg/100 g Tr.M., 1966/68)
in 0-20 cm Tiefe

Stalldung:	K		P	
	o.	m.	o.	m.
S	5,80	5,75	73,6	62,2
Ss	5,43	5,39	78,6	80,3
Sn	5,48	5,52	80,3	86,6
Sw	5,30	5,33	93,4	94,5
Sb	7,33	7,32	10,9	10,9
N	6,49	6,37	11,2	13,8
Ns	5,65	5,80	21,8	22,1
Nn	5,79	5,88	18,8	20,0
Nw	5,69	5,65	25,7	25,7
Nb	7,37	7,45	6,4	6,3
W	5,91	5,56	35,4	49,6
Ws	5,43	5,49	47,3	37,2
Wn	5,92	6,02	26,3	24,9
Ww	6,50	5,97	19,5	35,1
Wb	7,46	7,44	7,2	6,8
B	7,76	7,84	3,6	4,1
Bs	7,63	7,65	3,1	4,7
Bn	7,66	7,71	4,2	4,3
Bw	7,72	7,79	4,9	4,7
Bb	7,81	7,92	3,5	3,9

F-Test:	FG	pH	Hy	K	P
Stalldung	1	-	-	++	-
Standort	3	++	++	++	++
Boden	3	++	++	++	++
Stalldung/Standort	3	+	-	++	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-	-
Standort /Boden	9	++	++	++	++

Tab. 52

Austausch-Kapazität (mval/100 g Tr.M.), 1965/68)
in 0-20 cm Tiefe

Stalldung:	AK-Wert		H-Wert		S-Wert		V-Wert (%)	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	19,8	20,3	4,6	5,5	15,2	14,8	76,8	72,9
Ss	18,2	18,2	4,7	6,2	13,5	12,0	74,2	65,9
Sn	18,5	18,1	5,0	6,2	13,5	11,9	73,0	65,7
Sw	17,6	19,1	6,4	7,1	11,2	12,0	63,6	62,8
Sb	25,6	25,0	1,2	1,4	24,4	23,6	95,3	94,4
N	7,3	7,4	2,2	2,6	5,1	4,8	69,9	64,9
Ns	7,3	7,1	3,0	3,6	4,3	3,5	58,9	49,3
Nn	6,9	7,3	3,5	3,3	3,4	4,0	49,3	54,8
Nw	6,9	6,9	3,5	3,4	3,4	3,5	49,3	50,7
Nb	8,0	8,1	0,8	1,3	7,2	6,8	90,0	84,0
W	14,0	13,5	4,2	6,3	9,8	7,2	70,0	53,3
Ws	13,1	13,8	5,9	6,1	7,2	7,7	55,0	55,8
Wn	13,0	13,7	4,7	4,5	8,3	9,2	63,8	67,2
Ww	15,3	13,6	3,2	5,5	12,1	8,1	79,1	59,6
Wb	15,7	15,4	1,0	1,1	14,7	14,3	93,6	92,9
B	11,8	11,0	0,8	0,5	11,0	10,5	93,2	95,5
Bs	12,5	11,1	0,5	0,8	12,0	10,3	96,0	92,8
Bn	11,3	11,1	0,6	0,7	10,7	10,4	94,7	93,7
Bw	11,3	10,3	0,7	0,7	10,6	9,6	93,8	93,2
Bb	10,8	10,1	0,5	0,5	10,3	9,6	95,4	95,0

F-Test:	FG	AK-	S-	V-Wert
Stalldung	1	-	+	-
Standort	3	++	++	++
Boden	3	++	++	++
Stalldung/Standort	3	-	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	++	++	++

Tab. 53

Gehalt an Kohlenstoff und Stickstoff (in % Tr.M.)
in 0-20 cm Tiefe

Stalldung:	C _t (1962/65/66/68)		N _t (1962/66/68)		C/N (1962/66/68)	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	5,999	6,473	0,250	0,265	24,0	24,4
Ss	6,037	6,263	0,262	0,264	23,0	23,7
Sn	6,451	6,109	0,262	0,263	24,6	23,2
Sw	6,368	6,514	0,268	0,270	23,8	24,1
Sb	6,449	6,322	0,262	0,264	24,6	23,9
N	1,006	1,090	0,082	0,090	12,3	12,1
Ns	1,178	1,235	0,090	0,092	13,1	13,4
Nn	1,077	1,174	0,082	0,089	13,1	13,2
Nw	1,098	1,106	0,087	0,088	12,6	12,6
Nb	1,055	1,149	0,091	0,090	11,6	12,8
W	2,615	2,602	0,251	0,250	10,4	10,4
Ws	2,732	2,691	0,251	0,251	10,9	10,7
Wn	2,390	2,622	0,231	0,239	10,3	11,0
Ww	2,666	2,652	0,242	0,254	11,0	10,4
Wb	2,040	2,276	0,193	0,215	10,6	10,6
B	1,129	1,110	0,107	0,110	10,6	10,1
Bs	1,178	1,259	0,103	0,105	11,4	12,0
Bn	1,055	1,209	0,098	0,104	10,8	11,6
Bw	1,093	1,118	0,106	0,100	10,3	11,2
Bb	1,033	1,015	0,095	0,095	10,9	10,7
F-Test:	FG		C _t	N _t		
Stalldung	1		+	++		
Standort	3		++	++		
Boden	3		++	++		
Stalldung/Standort	3		-	-		
Stalldung/Boden	3		-	++		
Standort /Boden	9		++	++		

Tab. 54

Humusfraktionen (in %, 1968) in 0 - 20 cm Tiefe

Stalldung:	Gesamt- humus		Humin- säuren		Fulvo- säuren		unlöslicher Rückstand	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	55,2	57,2	39,5	39,3	15,7	17,9	44,8	42,8
Ss	56,1	52,8	40,7	39,4	15,4	13,4	43,9	47,2
Sn	51,5	52,0	35,5	39,0	16,0	13,0	48,5	48,0
Sw	51,0	53,2	36,6	39,0	14,4	14,2	49,0	46,8
Sb	57,3	57,8	40,7	40,4	16,6	17,4	42,7	42,2
N	32,1	35,7	14,6	16,8	17,5	18,9	67,9	64,3
Ns	37,6	39,2	20,3	23,1	17,3	16,1	62,4	60,8
Nn	33,8	36,7	15,8	18,2	18,0	18,5	66,2	63,3
Nw	39,0	35,9	18,7	19,8	20,3	16,1	61,0	64,1
Nb	36,5	31,3	20,3	18,8	16,2	12,5	63,5	68,7
W	37,9	47,0	14,5	17,5	23,4	29,5	62,1	53,0
Ws	39,6	44,7	18,2	19,3	21,4	25,4	60,4	55,3
Wn	36,6	46,0	14,2	17,3	22,4	28,7	63,4	54,0
Ww	36,4	42,3	15,1	18,7	21,3	23,6	63,6	57,7
Wb	33,9	41,6	13,9	15,8	20,0	25,8	66,1	58,4
B	25,7	35,6	14,5	15,9	11,2	19,7	74,3	64,4
Bs	35,5	43,2	21,5	20,8	14,0	22,4	64,5	56,8
Bn	31,8	34,9	16,3	18,4	15,5	16,5	68,2	65,1
Bw	38,7	34,2	16,4	16,1	22,3	18,1	61,3	65,8
Bb	36,2	37,7	14,4	16,0	21,8	21,7	63,8	62,3
F-Test:	FG		Humin-		Fulvosäuren		Rückstand	
Stalldung	1		++		-		++	
Standort	3		++		-		-	
Boden	3		++		++		++	
Stalldung/Standort	3		-		-		+	
Stalldung/Boden	3		-		-		+	
Standort /Boden	9		+		-		-	

Tab. 55

Keimzahlen (je g/Tr.M.) in 0-20 cm Tiefe

Stalldung:	Azotobacter/Tsd.		Gesamtkeimzahl/ Mill.		Cellulosezer-setzer /Tsd.	
	(1965/66/67/68)		(1962/65/66/68)		(1965/66/68)	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	32	13	18,65	13,25	15,00	94,03
Ss	0	0	11,71	12,93	6,79	11,07
Sn	0	0	10,98	10,73	1,31	2,43
Sw	7	1	9,65	8,45	9,47	1,94
Sb	485	328	23,18	23,36	195,21	123,02
N	1141	2936	17,54	20,11	117,52	82,76
Ns	75	63	21,27	14,53	5,82	63,26
Nn	270	27	15,78	14,05	15,70	6,94
Nw	98	109	11,20	11,69	13,52	64,73
Nb	2524	3682	30,74	26,70	116,66	266,59
W	978	434	23,78	17,87	42,50	34,90
Ws	6	7	18,03	20,08	71,33	52,37
Wn	496	146	23,02	24,44	3,41	27,44
Ww	1987	563	36,43	23,74	76,44	35,84
Wb	4808	2618	46,38	51,58	178,73	148,97
B	6432	8161	32,58	36,41	237,70	97,47
Bs	2794	2634	36,87	51,60	196,62	318,99
Bn	3848	3603	34,25	27,99	92,65	86,73
Bw	3342	3826	32,42	30,15	78,27	33,60
Bb	5865	5417	41,88	37,83	123,63	119,34
F-Test:	FG		AzKZ		GKZ	
Stalldung	1		-		-	
Standort	3		++		++	
Boden	3		++		+	
Stalldung/Standort	3		-		-	
Stalldung/Boden	3		++		-	
Standort /Boden	9		++		+	

Tab. 56

Keimzahlen (je g/Tr.M.) in 0-20 cm Tiefe

Stalldung:	Schimmelpilze/Mill. (1962/65/66/68)		Streptomyceten/Mill. (1965/66/68)	
	o.	m.	o.	m.
S	0,046	0,041	0,680	1,120
Ss	0,045	0,143	1,237	1,197
Sn	0,269	0,255	1,607	1,812
Sw	0,186	0,162	1,250	1,162
Sb	0,116	0,124	1,710	1,247
N	0,181	0,182	0,782	1,000
Ns	0,059	0,055	0,752	0,900
Nn	0,151	0,168	1,270	1,342
Nw	0,141	0,134	0,847	0,987
Nb	0,121	0,084	2,085	1,082
W	0,193	0,181	1,212	1,365
Ws	0,115	0,133	1,105	1,375
Wn	0,169	0,174	2,787	2,385
Ww	0,151	0,197	1,737	1,237
Wb	0,108	0,097	1,567	2,820
B	0,107	0,095	2,117	2,650
Bs	0,069	0,081	0,652	1,567
Bn	0,173	0,132	0,805	0,607
Bw	0,087	0,087	0,867	0,722
Bb	0,110	0,093	1,237	1,465

F-Test:	FG	PiKZ	StKZ
Stalldung	1	-	-
Standort	3	++	+
Boden	3	++	++
Stalldung/Standort	3	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-
Standort /Boden	9	+	-

Tab. 57

Umsetzungsaktivitäten in 0-20 cm Tiefe

	CO ₂ (mg/100 g Tr.M.)		O ₂ (ml/100 g Tr.M.)		Dehydrogenase- aktivität (<i>p</i> TPF/10 g Tr.M. /24 Std.)	
	(1962/65/66/68)		(1966/68)		(1962/65/66/68)	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	76,6	85,0	43,2	50,8	195	267
Ss	64,3	62,6	44,5	41,7	181	210
Sn	53,4	63,5	35,3	38,1	212	253
Sw	72,2	76,2	49,9	49,6	267	258
Sb	128,6	139,0	58,0	56,5	957	1104
N	49,3	62,5	27,1	29,2	240	275
Ns	46,6	58,3	29,5	28,8	204	233
Nn	49,7	56,3	27,2	28,0	195	236
Nw	56,0	65,0	30,8	35,2	241	296
Nb	69,5	83,1	40,1	40,3	483	529
W	102,5	94,8	63,1	63,0	718	566
Ws	79,8	76,3	59,4	62,2	426	545
Wn	67,6	72,9	50,3	55,0	477	556
Ww	102,8	85,7	67,2	63,3	692	633
Wb	122,8	118,4	70,3	76,6	998	1048
B	72,6	71,9	56,8	56,7	618	706
Bs	61,8	66,4	41,3	48,2	326	370
Bn	55,7	55,5	38,6	41,4	310	385
Bw	66,6	62,5	50,1	44,6	479	416
Bb	67,5	69,6	49,5	49,1	520	622
F-Test:	FG		CO ₂	O ₂	DHA	
Stalldung	1		-	-	++	
Standort	3		++	++	++	
Boden	3		++	++	++	
Stalldung/Standort	3		-	-	+	
Stalldung/Boden	3		++	-	-	
Standort /Boden	9		++	++	++	

Tab. 58

NH₄-N (mg N/100 g Tr.M., 1962/66) in 0-20 cm Tiefe
Tage Inkubation

Stalldung:	0		9		27	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	12,15	14,77	16,74	18,46	0	0
Ss	14,08	20,85	19,14	25,81	0	4,62
Sn	9,19	10,35	10,21	12,90	0	0
Sw	8,10	14,63	13,30	18,05	0	0
Sb	5,01	4,63	1,75	1,67	0	0
N	5,77	7,55	9,02	10,47	1,74	0,68
Ns	7,26	9,40	12,59	13,13	0,30	0,18
Nn	8,80	9,68	11,73	10,71	0,71	0,63
Nw	13,90	8,40	13,28	15,15	0,53	1,99
Nb	5,46	5,27	6,66	4,09	1,03	0,91
W	10,52	12,76	35,89	26,68	12,43	11,50
Ws	16,49	18,30	32,86	22,75	10,87	11,17
Wn	12,18	13,27	20,30	20,49	0	0
Ww	14,43	10,62	17,13	24,74	0	9,36
Wb	6,64	7,52	6,04	5,59	0	0
B	5,94	5,91	2,32	1,75	0,32	1,80
Bs	5,78	7,00	1,94	4,19	1,90	1,24
Bn	6,17	5,75	2,73	3,24	0,27	1,20
Bw	6,66	5,58	2,21	3,38	0,40	1,00
Bb	5,38	6,66	2,71	1,60	0,28	1,75
F-Test:	FG		0. Tag		9. Tag	
Stalldung	1		-		-	
Standort	3		++		++	
Boden	3		++		++	
Stalldung/Standort	3		-		-	
Stalldung/Boden	3		-		-	
Standort /Boden	9		+		++	

Tab. 59

NO₃-N (mg N/100 g Tr.M., 1962/66) in 0-20 cm Tiefe

Tage Inkubation

Stalldung:	0		9		27	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	1,52	1,91	1,94	2,59	8,29	11,14
Ss	1,70	2,50	1,91	3,05	8,78	10,04
Sn	1,31	2,04	2,08	2,49	7,16	7,96
Sw	1,75	2,44	2,40	2,96	8,69	9,79
Sb	1,43	1,43	4,94	4,96	8,18	8,08
N	2,50	1,85	2,03	2,14	5,21	5,87
Ns	1,41	1,61	1,30	1,49	4,79	4,93
Nn	1,18	1,39	1,45	1,62	5,30	5,16
Nw	1,35	1,40	1,30	1,17	5,12	5,03
Nb	1,07	1,47	2,58	2,52	5,98	6,73
W	5,73	4,54	6,81	5,47	10,19	9,78
Ws	2,59	3,75	3,00	4,38	7,74	8,90
Wn	3,89	5,14	5,25	5,90	11,13	12,41
Ww	4,28	4,64	6,20	5,18	12,22	9,97
Wb	2,31	2,39	7,29	7,77	10,86	8,77
B	1,30	1,80	4,73	4,80	7,27	7,85
Bs	1,90	2,62	4,46	5,35	7,24	8,09
Bn	1,92	2,29	3,98	4,65	7,23	6,94
Bw	1,42	2,02	4,53	4,76	9,15	6,88
Bb	1,25	1,45	3,97	4,30	7,68	7,13
F-Test:	FG		0. Tag		9. Tag	27. Tag
Stalldung	1		++		+	-
Standort	3		++		++	-
Boden	3		++		++	++
Stalldung/Standort	3		-		-	-
Stalldung/Boden	3		-		-	-
Standort /Boden	9		+		++	+

Tab. 60

Erträge (kg/6m²)

Stallung:	Kartoffeln (Mittel von 8 Jahren)		Hafer Korn (Mittel von 6 Jahren)		Stroh (Mittel von 6 Jahren)	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	17,60	19,79	2,29	2,43	3,27	3,06
Ss	17,88	19,26	2,52	2,44	3,30	3,11
Sn	18,08	17,87	1,76	1,85	2,51	2,59
Sw	15,04	16,07	1,77	1,82	4,43	4,64
Sb	14,39	13,75	1,29	1,46	3,04	3,01
N	16,10	18,18	1,58	1,65	2,78	2,73
Ns	17,63	18,93	2,34	2,38	3,28	3,40
Nn	18,21	18,10	2,01	2,14	2,81	2,75
Nw	13,83	15,03	1,48	1,46	3,65	3,75
Nb	13,19	10,87	1,54	1,60	3,46	3,59
W	12,69	13,30	1,18	1,18	3,14	3,14
Ws	17,62	18,91	2,52	2,57	3,17	3,37
Wn	17,28	18,24	1,52	1,58	2,48	2,40
Ww	13,53	15,23	1,37	1,37	3,36	3,63
Wb	13,34	13,30	1,47	1,57	3,58	3,44
B	12,72	13,28	1,62	1,69	3,96	3,80
Bs	17,40	17,68	2,86	3,19	4,97	5,22
Bn	19,93	18,94	2,08	2,12	3,70	3,69
Bw	11,80	12,31	1,96	1,83	4,96	4,91
Bb	12,58	10,18	1,49	1,72	3,64	3,82
F-Test:	FG		Kartoffeln	Korn	Stroh	
Stallung	1		-	-	-	
Standort	3		++	++	++	
Boden	3		++	++	++	
Stallung/Standort	3		++	-	-	
Stallung/Boden	3		-	-	-	
Standort /Boden	9		++	++	++	

Tab. 61

Gefäßversuch mit Winter-Raps (g Tr.M./Gefäß) mit
Proben von 0-20 cm Tiefe (1967)

Stalldung:	Wurzelmasse		Sproßmasse		Gesamtmasse	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	0,111	0,140	0,438	0,490	0,549	0,630
Ss	0,106	0,136	0,403	0,469	0,509	0,605
Sn	0,120	0,124	0,430	0,459	0,550	0,583
Sw	0,145	0,146	0,434	0,538	0,579	0,684
Sb	0,162	0,175	0,612	0,635	0,774	0,810
N	0,129	0,136	0,422	0,382	0,551	0,518
Ns	0,124	0,131	0,378	0,400	0,502	0,531
Nn	0,091	0,137	0,300	0,370	0,391	0,507
Nw	0,109	0,105	0,368	0,313	0,477	0,418
Nb	0,200	0,171	0,476	0,458	0,676	0,629
W	0,209	0,198	0,677	0,709	0,886	0,907
Ws	0,187	0,184	0,703	0,729	0,890	0,913
Wn	0,153	0,208	0,548	0,667	0,701	0,875
Ww	0,198	0,186	0,600	0,623	0,798	0,809
Wb	0,208	0,246	0,654	0,765	0,862	1,011
B	0,190	0,206	0,577	0,574	0,767	0,780
Bs	0,148	0,153	0,488	0,433	0,636	0,586
Bn	0,163	0,209	0,456	0,461	0,619	0,670
Bw	0,217	0,164	0,473	0,480	0,690	0,644
Bb	0,202	0,176	0,521	0,478	0,723	0,654
F-Test:	FG		Wurzel		Spross	
Stalldung	1		-		++	
Standort	3		++		++	
Boden	3		++		++	
Stalldung/Standort	3		++		-	
Stalldung/Boden	3		-		++	
Standort /Boden	9		++		++	

Tab. 62
pH-Werte (pH/0,1 n KCl) verschiedener
Bodentiefen (1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	5,88	5,95	5,95	5,68	5,30	5,45
Ss	5,80	5,50	5,60	5,45	5,35	5,40
Sn	5,63	5,50	5,50	5,40	5,05	5,03
Sw	5,48	5,25	5,40	5,30	5,05	4,93
Sb	7,25	7,08	6,93	6,90	6,65	6,60
N	6,18	6,13	6,90	7,00	7,10	7,10
Ns	5,23	5,50	6,35	6,85	6,60	6,90
Nn	5,50	5,60	6,45	6,83	6,65	7,10
Nw	5,00	5,13	6,33	6,80	6,40	6,83
Nb	7,05	7,18	7,55	7,40	7,25	7,53
W	5,90	5,55	6,73	5,73	5,78	5,10
Ws	5,60	6,00	5,68	5,65	5,10	5,58
Wn	6,03	6,30	6,00	6,03	5,10	5,05
Ww	6,35	6,00	6,38	5,78	5,95	4,85
Wb	7,35	7,50	7,10	7,20	7,18	7,05
B	7,68	7,75	7,13	7,48	7,88	7,68
Bs	7,60	7,70	7,20	7,35	7,95	7,70
Bn	7,63	7,68	7,38	7,60	8,05	7,68
Bw	7,65	7,68	7,40	7,58	7,88	7,68
Bb	7,73	7,75	7,40	7,60	8,00	7,75
F-Test:	FG		0 - 20		20 - 40	
Stalldung	1		-		-	
Standort	3		+++		++	
Boden	3		+++		++	
Stalldung/Standort	3		-		-	
Stalldung/Boden	3		+		-	
Standort /Boden	9		++		++	

Tab. 63

Hydrolytische Acidität (ml/100 g Tr.M.) · verschiedene Bodentiefen (1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	82,6	67,4	84,4	81,6	82,4	69,7
Ss	83,3	86,7	94,3	86,4	85,9	87,6
Sn	85,7	88,3	88,9	89,9	93,2	106,2
Sw	102,0	103,2	111,2	103,3	84,8	88,2
Sb	12,3	12,7	16,9	21,9	24,6	39,0
N	13,2	17,2	10,6	12,8	7,6	9,8
Ns	26,6	26,5	17,4	21,0	12,3	14,2
Nn	21,2	22,7	15,9	18,1	9,3	9,1
Nw	29,3	29,1	15,1	15,0	11,6	11,3
Nb	8,1	8,0	6,3	6,3	6,0	5,7
W	43,3	52,1	22,2	41,7	23,2	26,1
Ws	52,5	38,3	47,9	42,6	41,9	42,8
Wn	30,7	22,9	33,6	29,9	35,7	34,7
Ww	22,7	41,1	19,5	32,0	21,0	35,6
Wb	8,4	9,2	8,4	9,2	10,2	9,2
B	5,0	5,5	4,5	4,9	3,8	4,2
Bs	6,1	6,4	5,7	4,7	4,9	4,7
Bn	6,1	6,1	4,9	5,7	4,4	4,9
Bw	6,7	6,5	5,7	5,2	4,9	4,7
Bb	4,9	5,3	4,5	4,9	4,2	4,5
F-Test:	FG		0 - 20		20 - 40	
Stalldung	1		-		-	
Standort	3		++		++	
Boden	3		+++		++	
Stalldung/Standort	3		-		-	
Stalldung/Boden	3		-		-	
Standort /Boden	9		++		++	

Tab. 64

Austauschkapazität (mval/100 g Tr.M.) in 20-40 cm Tiefe (1968)

Stallung:	AK-Wert		H-Wert		S-Wert		V%	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	21,4	19,8	6,5	7,8	14,9	12,0	69,6	60,6
Ss	19,1	19,6	6,9	7,6	12,2	12,0	63,9	61,2
Sn	20,1	19,9	7,1	7,4	13,0	12,5	64,7	62,8
Sw	20,8	20,6	7,5	9,1	13,3	11,5	63,9	55,8
Sb	24,2	25,2	2,3	2,3	21,9	22,9	90,5	90,9
N	6,8	6,2	4,8	3,8	2,0	2,4	29,4	38,7
Ns	5,9	4,6	5,9	4,1	0,0	0,5	0,0	10,9
Nn	6,2	7,1	4,9	4,0	1,3	3,1	21,0	43,7
Nw	5,7	5,3	3,7	3,6	2,0	1,7	35,1	32,1
Nb	7,3	6,7	3,6	1,6	3,7	5,1	50,7	76,1
W	11,4	11,2	3,5	6,6	7,9	4,6	69,3	41,1
Ws	10,2	13,8	5,9	6,6	4,3	7,2	42,2	52,2
Wn	11,2	13,7	4,6	5,1	6,6	8,6	58,9	62,8
Ww	10,9	10,7	4,1	5,3	6,8	5,4	62,4	50,5
Wb	13,9	16,7	2,6	2,9	11,3	13,8	81,3	82,6
B	12,2	12,0	2,7	2,8	9,5	9,2	77,9	76,7
Bs	12,7	12,9	2,7	2,3	10,0	10,6	78,7	82,2
Bn	12,9	11,7	2,6	2,7	10,3	9,0	79,8	76,9
Bw	13,0	11,3	2,3	2,2	10,7	9,1	82,3	80,5
Bb	12,7	13,5	2,3	2,1	10,4	11,4	81,9	84,4
F-Test:	FG		AK-		S-		V-Wert	
Stallung	1		-		-		-	
Standort	3		++		++		++	
Boden	3		++		++		++	
Stallung/Standort	3		-		++		-	
Stallung/Boden	3		+		+		+	
Standort /Boden	9		+		++		++	

Tab. 65

Austauschkapazität (mval/100 g Tr.M.) in 40-60 cm Tiefe
(1968)

Boden	AK-Wert		H-Wert		S-Wert		V%	
	o.	m.	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	12,0	12,3	4,9	5,7	7,1	6,6	59,2	53,7
Ss	15,1	18,6	6,2	7,4	8,9	11,2	58,9	60,2
Sn	13,0	15,2	5,2	7,5	7,8	7,7	60,0	50,7
Sw	12,3	12,4	5,7	7,1	6,6	5,3	53,7	42,7
Sb	23,5	22,4	3,2	3,9	20,3	18,5	86,4	82,6
N	5,5	5,0	3,2	1,3	2,3	3,7	41,8	74,0
Ns	5,3	6,0	3,9	3,4	1,4	2,6	26,4	43,3
Nn	5,3	5,2	3,6	1,8	1,7	3,4	32,1	65,4
Nw	5,3	7,4	3,3	1,9	2,0	5,5	37,7	74,3
Nb	6,9	7,1	2,8	1,2	4,1	5,9	59,4	83,1
W	5,4	8,0	3,4	5,9	2,0	2,1	37,0	26,3
Ws	7,6	13,1	4,8	5,8	2,8	7,3	36,8	55,7
Wn	7,1	8,6	4,5	6,2	2,6	2,4	36,6	27,9
Ww	7,1	8,7	3,3	5,7	3,8	3,0	53,5	34,5
Wb	12,5	14,8	3,0	2,5	9,5	12,3	76,0	83,1
B	10,3	11,1	0,6	0,9	9,7	10,2	94,2	91,9
Bs	9,8	11,4	0,4	0,8	9,4	10,6	95,9	93,0
Bn	9,8	11,7	0,1	1,1	9,7	10,6	99,0	90,6
Bw	9,3	11,0	0,3	1,2	9,0	9,8	96,8	89,1
Bb	9,7	10,5	0,3	0,8	9,4	9,7	96,9	92,4
F-Test:	FG		AK-		S-		V-Wert	
Stalldung	1		++		++		-	
Standort	3		++		++		++	
Boden	3		++		++		++	
Stalldung/Standort	3		-		-		-	
Stalldung/Boden	3		-		-		++	
Standort /Boden	9		++		++		+	

Tab. 66

Austauschbares Ca+Mg (mval/100 g Tr.M.) verschiedene Bodentiefen (1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	14,9	21,0	17,5	14,0	7,3	8,6
Ss	14,9	15,3	13,6	15,0	8,6	12,7
Sn	14,6	16,1	13,2	14,5	5,5	8,7
Sw	12,8	13,9	13,7	14,1	5,9	6,3
Sb	23,0	22,7	21,6	22,8	20,1	18,4
N	6,2	5,9	5,7	5,6	4,5	3,8
Ns	5,7	5,8	4,6	5,1	4,0	5,3
Nn	5,6	5,0	4,9	4,6	4,0	4,7
Nw	4,7	6,2	4,5	4,8	3,8	4,4
Nb	6,7	5,4	3,5	4,9	3,8	5,7
W	10,8	8,5	9,7	6,4	5,9	5,5
Ws	8,9	11,5	6,4	8,2	5,1	8,8
Wn	10,6	13,2	8,1	10,9	4,9	4,5
Ww	13,6	10,7	8,9	7,9	7,3	3,6
Wb	12,3	14,3	10,9	13,5	9,1	11,9
B	10,0	9,9	9,1	8,8	9,3	10,1
Bs	10,5	9,7	9,8	10,3	9,2	10,5
Bn	9,4	10,2	10,1	8,6	9,5	10,5
Bw	9,4	9,1	10,4	8,9	8,8	9,8
Bb	9,6	9,6	10,0	11,0	9,0	9,7

F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Stalldung	1	-	+	-
Standort	3	++	++	++
Boden	3	++	++	++
Stalldung/Standort	3	-	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	++	++	++

Tab. 67

Austauschbares Kalium (mval/100 g Tr.M.) verschiedener Bodentiefen (1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stallung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	0,154	0,159	0,082	0,128	0,061	0,086
Ss	0,174	0,282	0,082	0,169	0,061	0,128
Sn	0,281	0,312	0,215	0,226	0,046	0,061
Sw	0,312	0,292	0,174	0,174	0,066	0,096
Sb	0,343	0,246	0,204	0,123	0,162	0,082
N	0,307	0,348	0,141	0,145	0,101	0,055
Ns	0,232	0,292	0,121	0,155	0,091	0,091
Nn	0,287	0,393	0,131	0,215	0,075	0,050
Nw	0,287	0,338	0,141	0,170	0,121	0,141
Nb	0,383	0,338	0,242	0,220	0,237	0,191
W	0,502	0,510	0,291	0,305	0,096	0,125
Ws	0,231	0,360	0,122	0,190	0,036	0,220
Wn	0,312	0,560	0,220	0,350	0,056	0,055
Ww	0,599	0,570	0,321	0,320	0,066	0,095
Wb	0,560	0,460	0,326	0,245	0,290	0,285
B	0,414	0,424	0,363	0,364	0,360	0,333
Bs	0,313	0,354	0,217	0,253	0,146	0,146
Bn	0,414	0,500	0,242	0,394	0,146	0,242
Bw	0,354	0,339	0,252	0,242	0,212	0,222
Bb	0,449	0,439	0,453	0,339	0,384	0,267
F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60		
Stallung	1	-	-	-		
Standort	3	++	++	++		
Boden	3	++	++	++		
Stallung/Standort	3	++	++	-		
Stallung/Boden	3	-	-	-		
Standort /Boden	9	+	+	-		

Tab. 68

Austauschbares Natrium (mval/100 g Tr.M.) verschiedener Bodentiefen (1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	0,063	0,057	0,055	0,056	0,037	0,026
Ss	0,054	0,049	0,053	0,053	0,033	0,044
Sn	0,036	0,033	0,045	0,037	0,022	0,020
Sw	0,018	0,014	0,029	0,024	0,013	0,011
Sb	0,010	0,012	0,034	0,034	0,032	0,030
N	0,014	0,005	0,035	0,012	0,022	0,007
Ns	0,011	0,014	0,022	0,014	0,017	0,007
Nn	0,008	0,006	0,029	0,007	0,019	0,014
Nw	0	0	0,036	0	0,014	0
Nb	0	0	0,007	0	0,017	0
W	0,067	0,060	0,049	0,074	0,047	0,050
Ws	0,076	0,088	0,069	0,092	0,057	0,096
Wn	0,080	0,067	0,091	0,086	0,080	0,094
Ww	0,028	0,035	0,060	0,038	0,070	0,047
Wb	0,032	0,043	0,078	0,098	0,091	0,102
B	0,004	0	0,005	0,002	0,028	0,006
Bs	0,007	0,017	0,008	0,008	0,020	0,020
Bn	0,002	0,003	0,012	0,009	0,009	0,016
Bw	0	0	0,006	0,010	0	0,002
Bb	0	0	0,001	0,017	0,007	0,020
F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60		
Stalldung	1	-	-	-		
Standort	3	++	++	++		
Boden	3	+++	++	++		
Stalldung/Standort	3	-	+	-		
Stalldung/Boden	3	-	+	-		
Standort /Boden	9	+	+	-		

Tab. 69

C-Gehalt (% der Tr.M.) verschiedener Bodentiefen
(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	5,419	5,547	4,910	5,088	2,454	2,838
Ss	5,834	6,187	5,573	5,733	4,222	4,919
Sn	6,419	5,925	5,633	6,085	2,861	3,584
Sw	6,237	6,268	6,237	6,037	3,133	2,872
Sb	6,401	6,401	6,041	5,986	5,807	5,692
N	0,848	0,893	0,621	0,630	0,207	0,244
Ns	1,114	1,120	0,809	0,927	0,369	0,451
Nn	0,963	1,023	0,805	0,781	0,304	0,274
Nw	1,046	0,913	0,493	0,457	0,284	0,213
Nb	1,000	0,970	0,818	0,759	0,621	0,606
W	2,894	2,924	1,919	1,792	0,589	0,885
Ws	3,070	3,063	2,327	2,251	1,515	2,430
Wn	2,397	2,820	2,288	2,517	1,048	0,930
Ww	2,983	2,919	1,958	1,849	0,945	0,840
Wb	2,261	2,539	1,895	2,099	1,848	1,861
B	1,133	1,064	0,963	0,933	0,867	0,832
Bs	1,136	1,324	0,811	0,945	0,636	0,652
Bn	1,045	1,181	0,816	1,000	0,633	0,827
Bw	1,119	1,119	0,763	0,763	0,696	0,695
Bb	1,017	1,086	0,974	0,835	0,818	0,780

F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Stalldung	1	-	-	-
Standort	3	-	-	++
Boden	3	+++	+++	+++
Stalldung/Standort	3	-	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	-	++	+++

Tab. 70

Gesamtkeimzahl (Mill/g Tr.M.) verschiedener Bodentiefen
(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stallung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	16,44	15,62	46,43	36,29	8,23	6,39
Ss	12,38	22,05	12,86	24,83	5,49	11,87
Sn	26,31	16,70	11,41	8,93	1,81	2,35
Sw	10,88	13,54	5,00	13,66	2,67	2,39
Sb	22,42	33,37	33,76	30,59	15,39	13,02
N	39,05	27,40	10,65	18,42	1,98	2,13
Ns	18,91	17,07	13,81	11,61	15,13	7,32
Nn	17,70	18,17	13,80	15,44	2,58	3,37
Nw	10,53	17,90	2,66	2,86	1,50	1,86
Nb	29,64	31,98	38,74	49,19	11,14	23,34
W	17,20	11,92	10,89	5,80	1,79	3,63
Ws	13,50	20,79	6,67	21,61	6,33	12,49
Wn	27,56	39,38	21,98	26,34	1,84	2,18
Ww	32,13	18,68	12,58	4,56	1,69	2,28
Wb	58,70	75,79	66,17	43,01	21,86	31,53
B	42,53	36,07	61,14	36,73	16,32	19,12
Bs	39,15	44,26	14,63	11,35	5,96	5,92
Bn	50,74	50,35	16,88	32,79	6,47	10,30
Bw	35,10	24,57	11,60	4,53	2,66	3,29
Bb	51,55	46,13	35,55	36,52	11,59	16,90

F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Stallung	1	-	-	-
Standort	3	++	++	++
Boden	3	++	-	-
Stallung/Standort	3	-	-	-
Stallung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	+	-	-

Tab. 71

Keimzahl von Azotobacter (je g/Tr.M.) verschiedener Bodentiefen
(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	0	51	9	0	4	0
Ss	0	0	0	0	0	0
Sn	0	0	0	0	0	0
Sw	0	0	0	0	0	0
Sb	148	480	156	89	72	50
N	1599	7394	91	23	3	3
Ns	127	229	112	85	0	3
Nn	19	15	8	31	0	3
Nw	178	99	23	11	11	0
Nb	1208	3822	2208	1076	635	1303
W	402	324	264	128	4	12
Ws	29	9	0	0	0	0
Wn	59	56	96	38	0	0
Ww	1195	345	160	85	4	0
Wb	3404	1788	817	2488	751	479
B	9506	6757	2094	4292	554	1023
Bs	6593	3309	251	126	20	20
Bn	2242	3147	3416	3735	224	831
Bw	3102	3399	1283	789	183	159
Bb	5994	4529	5814	1867	4984	1045

F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Stalldung	1	-	-	-
Standort	3	+	++	+
Boden	3	++	++	-
Stalldung/Standort	3	-	-	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	-	-	-

Tab. 72

CO₂-Entwicklung (mg/100 g Tr.M./48 Std.) verschiedener Bodentiefen

(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	9,0	12,3	10,4	9,6	4,3	5,7
Ss	11,2	9,9	8,5	9,6	5,9	8,9
Sn	6,7	6,4	7,8	5,6	3,3	4,5
Sw	11,0	10,0	7,2	11,0	3,5	4,1
Sb	38,0	42,4	41,8	41,9	36,6	26,9
N	6,0	7,3	3,6	4,8	2,2	2,2
Ns	6,0	9,1	4,7	5,7	1,7	3,5
Nn	7,0	5,5	3,5	3,8	1,9	3,4
Nw	6,6	7,1	8,8	1,9	2,5	2,1
Nb	15,4	16,1	15,6	14,5	10,6	12,6
W	13,2	13,7	14,0	12,4	4,2	6,2
Ws	11,4	14,3	7,7	7,6	5,5	14,3
Wn	10,4	11,7	10,1	10,1	5,8	6,8
Ww	14,0	11,1	13,0	7,6	9,3	7,7
Wb	32,2	37,7	37,1	33,4	33,9	39,3
B	16,9	20,5	11,1	14,2	6,6	11,1
Bs	19,0	22,0	10,5	13,9	3,1	6,4
Bn	16,4	18,8	10,3	15,3	4,5	6,4
Bw	22,9	20,7	9,8	8,8	5,3	5,8
Bb	19,9	17,0	13,0	12,2	9,1	9,2
F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60		
Stalldung	1	-	-	-		
Standort	3	+++	+++	++		
Boden	3	++	++	++		
Stalldung/Standort	3	-	-	-		
Stalldung/Boden	3	-	-	-		
Standort/Boden	9	++	++	++		

Tab. 73

Dehydrogenase-Aktivität (μ TPF/10 g/24 Std.) verschiedener Bodentiefen

(1968)

Tiefe/cm:	0-20		20-40		40-60	
Stalldung:	o.	m.	o.	m.	o.	m.
S	254	479	436	397	108	162
Ss	359	393	418	469	214	366
Sn	324	386	429	507	101	130
Sw	473	383	329	355	128	108
Sb	1317	1724	1099	876	849	657
N	575	613	175	254	0	7
Ns	519	612	232	373	49	100
Nn	530	561	217	358	21	42
Nw	496	558	89	131	17	19
Nb	752	831	486	543	242	454
W	1395	1032	690	496	45	131
Ws	899	1437	497	780	230	758
Wn	869	1472	781	1015	82	87
Ww	1494	1178	528	619	97	71
Wb	1921	1949	1040	1141	904	281
B	1017	1171	565	897	391	413
Bs	904	1070	263	373	189	106
Bn	739	871	339	733	188	380
Bw	1068	968	360	297	191	134
Bb	861	1085	767	602	359	395

F-Test:	FG	0 - 20	20 - 40	40 - 60
Stalldung	1	-	+	-
Standort	3	++	++	++
Boden	3	++	++	-
Stalldung/Standort	3	-	+	-
Stalldung/Boden	3	-	-	-
Standort /Boden	9	+	-	-

Der Verfasser dankt insbesondere herzlich

seinem verehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. H. G l a t h e ,
für die Überantwortung des von ihm angelegten Versuches sowie
für sein stetes Interesse und seine kritische Anteilnahme an
dem Fortgang der Arbeiten;

Herrn Prof. Dr. E. K ü s t e r, der nach seiner Amtsübernahme
im Jahre 1968 durch sein großzügiges Entgegenkommen nicht
nur die ungestörte Weiterführung der Arbeit ermöglichte,
sondern sie darüberhinaus noch aktiv förderte;

Herrn Prof. S a u e r l a n d t für kritische Bemerkungen;

Herrn Prof. Dr. H. U. P r e u s s e, Institut für Bodenkunde
und Bodenerhaltung, für bodenkundliche Beratungen;

Frau Dipl.-Math. W e i s s, Herrn Dr. M ü l l e r und
Herrn Dr. F r o h n für Hinweise und Hilfen bei der sta-
tistischen Auswertung der Ergebnisse;

seiner ehemaligen Assistentin, Frau H. O t t o w, für
umsichtigen und treuen Einsatz bei den umfangreichen Unter-
suchungen sowie für die sorgfältige Anfertigung von graphischen
Darstellungen;

Frau E. H o r s t und Frau B. H u b für bereitwillige
und tatkräftige Mithilfe in Stoßzeiten sowie für sorgfältige
photographische Arbeiten.

Nur mit Hilfe vieler Verantwortlicher verschiedener Institutionen und Behörden war es möglich, den Klimaversuch anzulegen und durchzuführen. Die laufenden Arbeiten wurden von örtlichen Mitarbeitern und Technikern geleistet. Ihnen allen sei, insbesondere auch im Namen von Herrn Prof. Dr. H. G l a t h e, im Interesse der Sache für die jahrelange selbstlose Betreuung des Versuches bestens gedankt.

Für die Bereitstellung der einzelnen Versuchsstandorte und die Betreuung der Versuche haben sich vor allem eingesetzt in

Lentförden Herr Prof. Dr. J. K ö h n l e i n, Institut für Acker- und Pflanzenbau der Universität Kiel, und Herr Dr. H. F i n g e r, Bundesanstalt für Milchforschung Kiel;

Völkenrode Herr Prof. Dr. W. S a u e r l a n d t, früheren Direktor des Institutes für Humuswirtschaft, und Herr Dr. C. T i e t j e n, Institut für Bodenbiologie (früher Institut für Humuswirtschaft) der Forschungsanstalt für Landwirtschaft;

Erndtebrück die Herren Direktoren Dr. S e i d e n s t ü c k e r und Dr. H e n r i c h der Landwirtschaftsschule Erndtebrück, Landwirtschaftskammer Westfalen-Lippe;

Lilienhof die Herren des Landwirtschaftsamtes Freiburg i. Br. und der Landwirtschaftsschule Breisach a. Rh. sowie der Forstverwaltung Freiburg, auf deren Gelände der Versuch liegt.

Foto-Druck Lenz - Riegelpfad/Ecke Ludwigstraße - 6300 Gießen
Telefon 0641-77449